www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

3e JAARGANG NUMMER 12 DECEMBER 1938

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

ZIRCONIUM EN ZIJN HOOGSMELTENDE VERBINDINGEN

door J. D. FAST.

546.831 : 669.296

In dit artikel worden de bereiding van het zirconium en zijn mechanische, chemische en electrische eigenschappen besproken. Daarna wordt ingegaan op de belangrijkste toepassingen van het zirconium en zijn hoogsmeltende verbindingen. Het zirconium vindt veelvuldig toepassing in ontladingsbuizen. Hierbij is hoofdzakelijk van beteekenis zijn hoog smeltpunt, de kleine waarde van zijn secundaire electronenemissie en, indien het als „getter" wordt gebruikt, zijn eigenschap groote hoeveelheden zuurstof, stikstof en waterstof te kunnen opnemen. De zirconiumverbindingen, zirkoonoxyde en zirkooncarbide zijn van belang als vuurvaste materialen.

Inleiding

Reeds van het begin van de ontwikkeling der gloeilampenindustrie af zijn in de laboratoria der verschillende gloeilampenfabrieken vele onderzoekingen verricht op het gebied der hoogsmeltende metalen. Groote belangstelling trokken vooral de metalen van de volgende groepen van het natuurlijke systeem der elementen:

1) de platinagroep: platina, iridium en osmium, waarvan het laatste metaal gedurende eenigen tijd is toegepast als gloeilichaam der electrische lichtbronnen.
2) De vierde hoofdgroep: titanium, zirconium, hafnium en thorium.
3) De vijfde hoofdgroep: vanadium, niobium en tantalium, waarvan het laatste metaal in de zg. tantaallampen een tijdlang als gloeilichaam is gebruikt.
4) De zesde hoofdgroep: chroom, molybdeen en wolfraam.

Toen de gloeilampenindustrie zich begon te ontwikkelen (omstreeks 1880), was van de mechanische en physische eigenschappen van de metalen van de laatste drie der genoemde groepen vrijwel niets bekend en van de chemische eigenschappen zeer weinig. De belangstelling dezer industrie heeft echter in hooge mate bijgedragen tot de onderzoekingen, die tot de tamelijk omvangrijke kennis voerden, die men tegenwoordig van deze metalen heeft. Deze belangstelling richtte zich in het begin in hoofdzaak op het smeltpunt en de verdampingssnelheid, maar ging, toen de gloeilampenindustrie zich ook toelegde op het vervaardigen van röntgenbuizen, zendlampen en ontvanglampen voor radiodoeleinden, gelijkrichters, enz., meer en meer het geheel der eigenschappen der beschouwde metalen omvatten.

Het technische resultaat is geweest, dat wolfraam tegenwoordig algemeen wordt toegepast als gloeidraad in de gloeilampen en dat dit element alle andere stoffen, die hiervoor zijn gebruikt, heeft verdrongen. Enkele andere der genoemde metalen, zooals zirconium, tantalium en molybdeen, hebben eveneens, zij het ook minder belangrijke, toepassingen gevonden.

De bedoeling van dit artikel is eenige mededeelingen te doen over de eigenschappen en de toepassingen van het element zirconium en enkele zijner verbindingen. Achtereenvolgens zullen ter sprake komen het metaal, het oxyde (ZrO_2) en het carbide (ZrC). Het metaal wordt in zuivere toestand voornamelijk toegepast in zendlampen en andere ontladingsbuizen, waar o.a. gebruik gemaakt wordt van de groote chemische affiniteit tot verschillende andere elementen, zooals zuurstof, stikstof, koolstof en waterstof. Het oxyde vindt voornamelijk toepassing als vuurvast materiaal en als middel om glazuur en emaille ondoorzichtig te maken. Het carbide wordt nog weinig toegepast, maar deelt in de groote belangstelling, die de laatste 10 à 15 jaar bestaat voor de metaalcarbiden met zeer hoog smeltpunt en zeer groote hardheid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Bros en ductiel zirconium

Het is bijna 25 jaar geleden, dat de eerste wetenschappelijke publicatie van het Philips-laboratorium [1]) verscheen. Ze bevatte mededeelingen over de bereiding van metallisch thorium, uranium, zirconium en titanium. Het zirconium werd bereid door reductie van zirkoontetrachloride ($ZrCl_4$) met natrium. Het metaal werd verkregen in de vorm van een poeder, waarvan de korrelgrootte afhankelijk was van de reductietemperatuur, de geaardheid van het chloride, enz. Later werd de methode nog verbeterd door het chloride vooraf in waterstof te sublimeeren, waarbij het in groote, compacte stukken wordt verkregen. Gaat men uit van dit gesublimeerde chloride en reduceert men het in groote porties bij tamelijk hooge temperatuur, dan wordt het metaal verkregen in de vorm van vele cm groote stukken, die echter poreus zijn. De besproken bereidingswijze levert een metaal van groote zuiverheid en behoort nog steeds tot de beste methoden om zirconium in de vorm van een poeder of van poreuse stukken te bereiden. De beste preparaten bleken bij analytisch onderzoek een zuiverheid van 100% te bezitten. De afzonderlijke korrels vertoonden een zekere ductiliteit (mechanische vervormbaarheid). Zeer merkwaardig echter was, dat wanneer van het zuivere metaalpoeder volgens de bij de bewerking van wolfraam gebruikelijke methode een staaf werd geperst en deze bij hooge temperatuur in een uitstekend hoogvacuum gesinterd, deze staaf vrijwel geen spoor van ductiliteit vertoonde. Een vervorming tot plaat of draad door walsen, hameren en trekken was hierdoor onmogelijk. Daar echter de chemische analyse, zooals reeds werd vermeld, op een zeer hooge mate van zuiverheid wees, werd gedurende vele jaren algemeen aangenomen, dat zirconium een zeer broos metaal is en tot de zg. halfmetalen moet worden gerekend.

Dertien jaar geleden echter werd in dit laboratorium [2]) een geheel nieuwe methode gevonden om zirconium in de vorm van staven te bereiden, nl. door ontleding van zirkoontetrajodide aan een gloeiende draad (zie hieronder), en deze staven bleken een hooge mate van ductiliteit te bezitten. De vervormbaarheid is zoo groot, dat het tegenwoordig zelfs mogelijk is, staven van 7 mm dikte geheel koud te bewerken tot zeer dunne draad en plaat. De kristalstructuur van het ductiele zirconium bleek dezelfde te zijn als die van het broze zirconium, zoodat men niet met twee allotrope modificaties te doen had. Men was dus gedwongen aan te nemen, dat het broze zirconium één of meer verontreinigungen bevatte, waarover de chemische analyse geen uitsluitsel geeft.

Pas in de allerlaatste jaren is het mogelijk geweest tot een alleszins bevredigende verklaring van dit verschijnsel te komen. Het is gebleken, dat zirconium groote hoeveelheden zuurstof en stikstof in vaste oplossing kan bevatten. In opgeloste toestand aanwezig, hebben deze elementen een zeer schadelijke invloed op de mechanische eigenschappen van metalen, zoodat reeds zeer geringe hoeveelheden voldoende zijn om het metaal broos te maken. Titanium, dat eveneens aanmerkelijke hoeveelheden zuurstof en stikstof in vaste oplossing kan bevatten, vertoont dezelfde verschijnselen als zirconium. Thorium echter, dat tot dezelfde groep van het periodieke systeem behoort als titanium en zirconium, blijkt geen noemenswaardig oplossend vermogen voor zuurstof en stikstof te hebben. Het gevolg is, dat dit metaal de besproken verschijnselen niet vertoont: thoriumstaven kunnen ook door persen en sinteren van het poeder in een ductiele toestand worden verkregen.

We moeten ons voorstellen, dat de bij de reductie van de chloriden van de drie genoemde metalen verkregen metaalkorrels met een oxyde- en/of nitridehuidje bedekt zijn. Bij het samensinteren van de uit de poeders geperste staven lossen in het geval van zirconium en titanium de zuurstof en de stikstof in het metaal op, waardoor dit broos wordt, terwijl in het geval van thorium de zuurstof en de stikstof als zoodanig in de staaf aanwezig blijven. Wel is waar treedt ook bij de sintering van de geperste thoriumstaven een verandering in de structuur op, maar deze heeft juist een gunstige invloed op de mechanische eigenschappen. Ze bestaat nl. daarin, dat het oxyde resp. nitride zich tot afzonderlijke korrels samenbalt, waardoor deze zich na het sinteren in een samenhangende grondmassa van ductiel metaal bevinden. Dit maakt het verklaarbaar, dat er bij thorium veel grootere hoeveelheden zuurstof en stikstof noodig zijn om het metaal broos te maken dan bij zirconium en titanium.

De bij het reduceeren verkregen korrels van zirconium en titanium bevatten gewoonlijk ook reeds geringe hoeveelheden opgeloste zuurstof en stikstof, waardoor ze elk afzonderlijk een ductili-

[1]) D. Lely en L. Hamburger, Herstellung der Elemente Thorium, Uran, Zirkon und Titan, Z. anorg. allg. Chem. **87**, 209, 1914.

[2]) J. H. de Boer en J. D. Fast, Über die Darstellung der reinen Metalle der Titangruppe durch thermische Zersetzung ihrer Jodide. I. Zirkonium, Z. anorg. allg. Chem. **153**, 1, 1926.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

teit vertoonen, die belangrijk geringer is dan die van de volkomen zuivere metalen, maar belangrijk grooter dan die van de geperste en gesinterde staven.

Bereiding van ductiel zirconium in staafvorm

Ductiel zirconium wordt bereid door thermische ontleding van zirkoontetrajodide. De dampspanning van deze verbinding bereikt bij een temperatuur van 431°C een waarde van 1 atmosfeer. Komt het gasvormige jodide in aanraking met een wand, waarvan de temperatuur hooger dan 1100°C is, dan ontleedt het gedeeltelijk in zirconium en jodium. Bij de practische uitvoering van het proces vindt de ontleding plaats aan een dunne metalen draad, die door stroomdoorgang wordt verhit op een geschikte temperatuur, bijv. 1300°C. Het proces wordt uitgevoerd in een apparaat van pyrexglas, waarin dikke wolfraampolen zijn ingesmolten. In dit apparaat wordt de vereischte hoeveelheid ruw zirconium gebracht in de vorm van poreuse stukken (verkregen door reductie van zirkoontetrachloride of van natriumzirkoonfluoride met natrium) en een betrekkelijk geringe hoeveelheid jodium. Het apparaat wordt daarna leeggepompt tot een druk van ongeveer 10^{-6} mm. Tijdens dit pompen wordt het ruwe zirconium verwarmd om geadsorbeerde gassen te verdrijven, terwijl het jodium wordt gekoeld. Na het ontgassen wordt het toestel afgesmolten en in een electrische oven verwarmd. Bij een temperatuur van ongeveer 100°C (afhankelijk van de geaardheid van het ruwe zirconium) verbindt het jodium zich met een gedeelte van het zirconium tot ZrJ_4 en deze stof verdampt bij verder stijgende temperatuur en wordt aan de draad ontleed in zirconium en jodium, wanneer de temperatuur van deze draad hoog genoeg is. Op deze wijze beginnen op de draad zirconium-kristallen te groeien.

De dampspanning van het jodide is bij 100°C nog te verwaarloozen, zoodat bij verhitten van de kerndraad op bijv. 1300°C nog geen merkbare groei plaats vindt. Bij een oventemperatuur van 150°C is de dampspanning reeds zoo groot (nl. ongeveer 0,001 mm kwikdruk), dat zich op de gloeiende draad langzaam zirconium afzet. Bij verder stijgende oventemperatuur neemt de groeisnelheid toe en bereikt bij 250°C een groote waarde. De dampspanning van het tetrajodide bedraagt dan ongeveer 0,5 mm Hg. Van ongeveer 250° af echter stijgt de druk van ZrJ_4 nog slechts weinig, doordat het tetrajodide boven deze temperatuur met de overmaat ruw zirconium gaat reageeren onder de vorming van tri-jodide (ZrJ_3), welke laatste verbinding in dit temperatuurgebied geen merkbare dampspanning heeft. Bij nog hoogere temperaturen wordt tevens het di-jodide (ZrJ_2) gevormd, een verbinding, die eveneens bij in pyrexglas bereikbare temperaturen geen merkbare dampspanning heeft. Het tri-jodide ontleedt boven 310°C volgens de vergelijking

$$2\ ZrJ_3 \rightleftarrows ZrJ_2 + ZrJ_4,$$

terwijl het di-jodide boven 430° ontleedt volgens de vergelijking

$$2\ ZrJ_2 \rightleftarrows Zr + ZrJ_4.$$

Bij hoogere temperaturen wordt dus de druk van ZrJ_4 door deze evenwichten bepaald.

Het gevolg van deze verschijnselen is, dat de aangroeisnelheid boven 250°C niet noemenswaardig meer toeneemt en dat ze boven 350°C tenslotte weer gaat dalen.

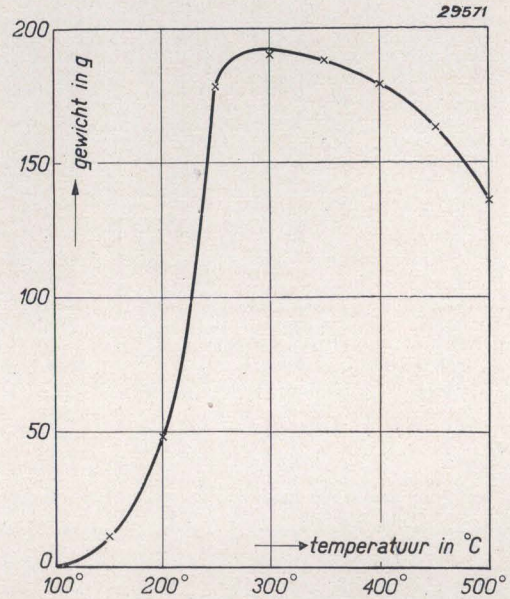


Fig. 1. Vormingssnelheid van zirconium, verkregen door ontleding van zirkoontetrajodide, als functie van de oventemperatuur. Als ordinaat is uitgezet het gewicht, dat bij de betreffende oventemperatuur en een draadtemperatuur van 1300°C na een aangroeitijd van 30 uren wordt verkregen.

Fig. 1 geeft een grafische voorstelling van de vormingssnelheid van het ductiele zirconium als functie van de oventemperatuur. Als abscis is de temperatuur uitgezet en als ordinaat het gewicht van de zirconiumstaven, die na een aangroeitijd van 30 uren werden verkregen. Bij elke afzonderlijke proef werd de oventemperatuur gedurende deze aangroeitijd constant gehouden. Alle apparaten, die bij deze proefnemingen werden gebruikt, waren vooraf gevuld met 250 gram ruw zirconium van één en dezelfde partij (verkregen door reductie van het chloride) en met 12 gram jodium. De draadtemperatuur was bij al deze proeven dezelfde, nl. 1300°C.

Voor de practische toepassingen wordt zirconium vervaardigd in staven van ong. 7 mm dikte, die ongeveer 200 gram wegen. De oventemperatuur wordt bij het prepareeren op 250 à 350°C gehouden. Als kerndraad wordt vaak een wolfraamdraad van 40 micron dikte gebruikt. Het wolfraamgehalte van de zirconiumstaven bedraagt dan 0,01 %. Voor toepassingen, waar dit wolfraamgehalte stoort, wordt een kerndraad van zirconium zelve gebruikt.

Zooals reeds werd opgemerkt, wordt bij de bereiding

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van het ductiele zirconium slechts een betrekkelijk kleine hoeveelheid jodium gebruikt. Het dient nl. slechts als een middel om het metaal van het ruwe zirconium naar de aangroeiende staaf te transporteeren. Het komt voortdurend aan de aangroeiende staaf vrij, verbindt zich weer met een gedeelte van de overmaat ruw metaal en komt „beladen met zirconium" weer in de gasatmosfeer terug. Zorg moet worden gedragen, dat het ruwe zirconium geen belangrijke hoeveelheden van stoffen als bijv. ijzer, aluminium en silicium bevat, daar deze stoffen eveneens betrekkelijk vluchtige jodiden vormen en aanleiding kunnen geven tot een verontreiniging van de staven. Het zuurstof- en stikstofgehalte van het ruwe zirconium daarentegen is geen bezwaar, daar deze stoffen in het ruwe metaal achterblijven.

De staven, die volgens het beschreven proces zijn vervaardigd, hebben een volkomen dichte structuur. Het met behulp van een hydrostatische balans bepaalde soortelijke gewicht (6,54) stemt nauwkeurig overeen met het uit röntgenographische gegevens theoretisch afgeleide soortelijke gewicht. De staven worden door fraai gevormde kristalvlakken begrensd. *Fig. 2* vertoont een afbeelding van zirconiumstaven van 7 mm dikte.

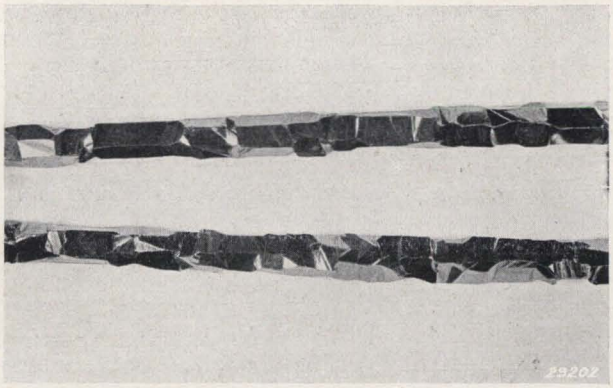


Fig. 2. Zirconiumstaven van 7 mm dikte.

Mechanische bewerking van zirconium

We hebben in het voorafgaande reeds opgemerkt, dat de door ontleding van het jodide vervaardigde zirconiumstaven zoo ductiel zijn, dat ze tot dunne draad en plaat kunnen worden vervormd, zonder dat daarbij eenige verhitting noodzakelijk is. Bij de vervaardiging van zirconiumdraad worden de staven eerst met behulp van hamermachines tot draad van ongeveer 0,5 mm dikte uitgehamerd. Deze bewerking kan geheel zonder verwarming worden uitgevoerd. Van 0,5 mm af wordt de draad door diamanten treksteenen tot kleinere diameters getrokken. Tracht men ook deze bewerking geheel koud uit te voeren, dan treden er groote moeilijkheden op. Men verneemt bij het trekken een knarsend geluid, terwijl de draad herhaaldelijk breekt. Bekijkt men de draad na het trekken onder een microscoop dan blijken op het oppervlak over de geheele lengte groeven aanwezig te zijn. De oorzaak van dit verschijnsel is, dat ook bij een zorgvuldige smering deeltjes van het oppervlak worden losgescheurd als een gevolg van de adhesie tusschen het metaal en de wanden van de treksteen. Deze deeltjes blijven in de treksteen haken en zijn de oorzaak zoowel van het „vreten" als van het veelvuldig stijgen van de vereischte trekkracht tot een waarde, die de trekvastheid overschrijdt [3]). Wordt de draad voor het passeeren van de treksteen verhit (temperatuur ongeveer 500°C), dan vormt zich een oxydhuid op de draad, die weliswaar zeer hard is, maar die het trekken mogelijk maakt, doordat ze het vreten voorkomt. Daar we met een oppervlakteverschijnsel te doen hebben, kunnen we in plaats van de oxydmantel ook een metalen mantel om de draad aanbrengen, waardoor elke gloeibehandeling overbodig wordt. Het geheel koud hameren en trekken van staven van ca. 7 mm dikte tot draad van bijv. 30 micron, is dan ook slechts op technische schaal mogelijk, indien een mantel van bijv. ijzer, nikkel of koper om de staven wordt aangebracht. Deze mantel wordt na de bewerking langs chemische weg verwijderd. (nl. door oplossen in zuur). Zirconiumdraad, die volgens deze methode is vervaardigd, is geheel vrij van zuurstof en stikstof terwijl warm getrokken zirconiumdraad steeds zeer geringe hoeveelheden van deze elementen bevat.

Het walsen van de staven tot plaat kan eveneens geheel koud worden uitgevoerd. Gewoonlijk echter worden de staven tot een dikte van 1 à 0,5 mm warm gewalst. Het oppervlak wordt daarna gereinigd en het verdere walsen wordt geheel koud uitgevoerd. Het bleek zoo bijv. mogelijk om strooken van 20 micron dikte, 30 cm breedte en 1 à 2 meter lengte te maken. Wordt het walsen uitgevoerd op gepolijste walsrollen, dan wordt prachtig spiegelende plaat verkregen. *Fig. 3* vertoont een foto van zirconiumplaat van 20 micron dikte, welke van 0,6 mm af koud gewalst is.

Het is mogelijk gebleken om volgens het dieptrekproces holle voorwerpen van zirconium te vervaardigen. Bij het trekken treden geen bijzondere moeilijkheden op, wanneer de zirconium-

[3]) Men zou misschien verwachten, dat de oorzaak van de moeilijkheden bij het trekken een hierbij optredende mechanische versteviging is. Dit bleek echter niet het geval te zijn, want dezelfde moeilijkheden worden ook ondervonden, wanneer een zirconiumdraad wordt getrokken direct nadat hij in een hoogvacuum is gegloeid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

plaat, die als uitgangsmateriaal dient, op de juiste wijze is gewalst. *Fig. 4* vertoont een foto van drie verschillende typen van getrokken voorwerpen van zirconium. *Fig. 5* vertoont de verschillende bewerkingsstadia bij het maken van zoo'n voorwerp. De bewerkingen worden koud uitgevoerd. Evenals bij het draadtrekken bleek, dat blank metaal zich slechts zeer moeilijk laat trekken, daar men last krijgt van vreten, welk verschijnsel zoowel bij koud gewalste als bij in een hoogvacuum uitgegloeide plaat kan optreden. Worden de trekschijven echter vóór het trekken gedurende zeer korten tijd aan de lucht verhit op 650°C, dan vormt zich een oxydhuid, die het trekken vergemakkelijkt. De beste resultaten werden verkregen bij uitgloeien van het metaal gedurende slechts enkele seconden in de kleurlooze vlam van een Bunsen-brander, gevolgd door afschrikken in water. Het metaal is dan zeer fijnkristallijn, daar de koudbewerkte plaat bij de verhitting rekristalliseert, terwijl door de uiterst korte verhittingstijd nog geen merkbare samengroei van de gevormde zeer kleine kristallen optreedt. Voor het trekproces is deze fijnkorrelige structuur een voordeel.

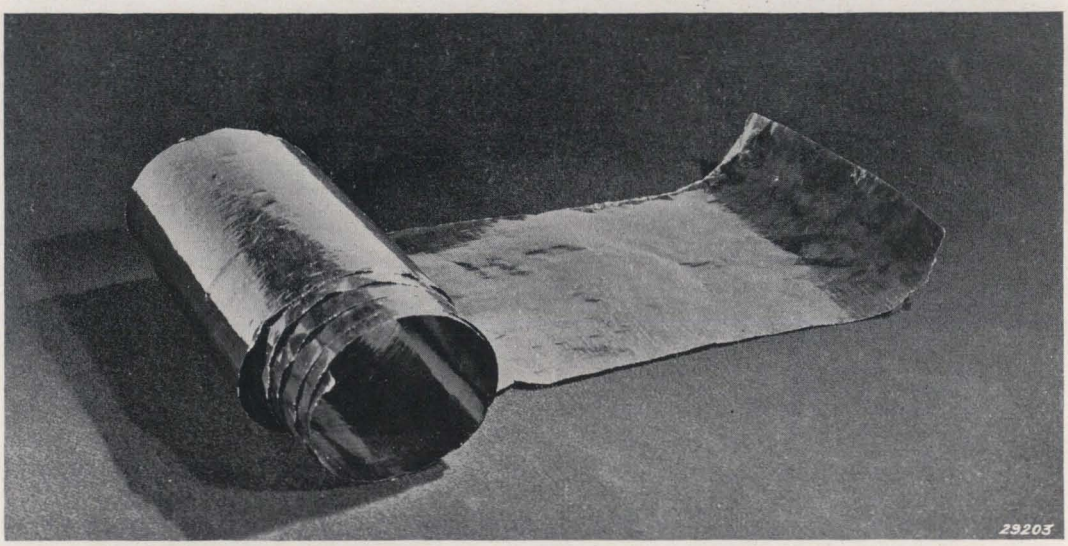


Fig. 3. Zirconiumplaat van 20 micron dikte, verkregen door het materiaal vanaf een dikte van 0,6 mm koud te walsen.

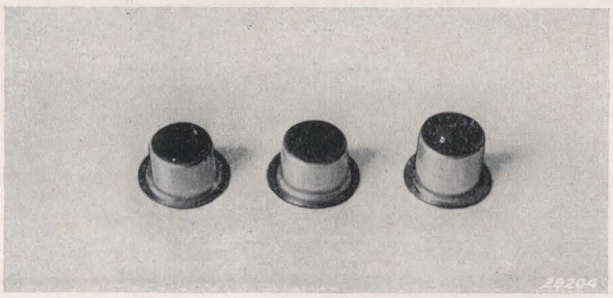


Fig. 4. Holle voorwerpen, vervaardigd uit zirconiumplaat door toepassing van een dieptrekproces.

Chemische eigenschappen van zirconium

De meest karakteristieke chemische eigenschap van metallisch zirconium is zijn groote affiniteit tot verschillende andere elementen. Fijn verdeeld zirconiumpoeder vliegt bij verhitting boven ongeveer 200°C aan de lucht in brand en verbrandt met een verblindend wit licht tot zirkoonoxyde ZrO_2. Wordt zirconium in stikstof verhit, dan vormt zich een zeer stabiel nitride van de formule ZrN. Met waterstof wordt de verbinding ZrH_2 gevormd, die echter reeds bij betrekkelijk lage temperaturen (boven 600°C) weer gedeeltelijk in de elementen ontleedt. *Tabel 1* vermeldt de vormingswarmten van de drie genoemde verbindingen.

Laat men het metaal niet met een overmaat gas reageeren, maar met afgemeten hoeveelheden in een gesloten ruimte, dan blijkt dat groote hoeveel-

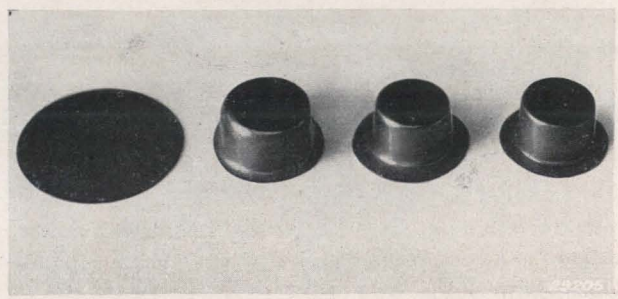


Fig. 5. Verschillende stadia bij het trekken van holle voorwerpen. De vervaardiging van het dopje (rechts) uit de zirconiumplaat (links) vereischt drie bewerkingen, die koud kunnen worden uitgevoerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tabel 1

Verbinding	Vormingswarmte in kcal/mol.
ZrO_2	258
ZrN	82
ZrH_2	40,5

heden kunnen worden opgenomen zonder dat een nieuwe phase wordt gevormd. Bij de opname van stikstof wordt pas na overschrijden van een gehalte van ongeveer 20 atoomprocenten naast de hexagonale metaalphase de kubische nitridephase gevormd. De eerste 20% worden dus in vaste oplossing opgenomen. Voor zuurstof ligt de grens van de vaste oplosbaarheid zelfs bij ongeveer 40 atoomprocenten, terwijl ze voor waterstof bij minstens 5 atoomprocenten ligt.

procenten stikstof en is zeer broos. Aan het uiterlijk zijn de twee stukjes staaf echter niet van elkaar te onderscheiden.

Verhit men draden, die enkele atoomprocenten zuurstof, stikstof of waterstof bevatten, in een hoogvacuum, dan blijkt, dat de waterstof vrij gemakkelijk kan worden uitgedreven. (Het uitdrijven van de laatste hoeveelheden vergt echter zelfs bij hooge temperaturen zeer veel tijd). Zuurstof en stikstof echter kunnen niet worden uitgedreven. De gasdruk blijft bij opvoeren van de temperatuur nul en bij temperaturen dicht onder het smeltpunt beginnen metaalatomen te verdampen, terwijl de zuurstof resp. stikstof in de draad blijft. Deze gassen worden dus door sterke chemische krachten gebonden, wanneer ze in opgeloste toestand in het metaal aanwezig zijn.

Het soortelijk gewicht van zirconium stijgt door

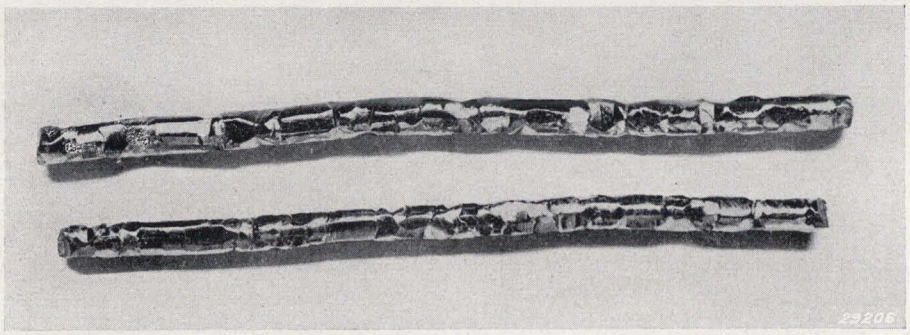


Fig. 6. Twee stukken van hetzelfde zirconiumstaafje. Het kortste stuk is chemisch geheel zuiver en zeer ductiel. Het langste stuk werd in een stikstofatmosfeer verhit, het heeft 13 atoomprocent stikstof opgenomen en is zeer broos. Aan hun uiterlijk zijn de twee stukjes staaf echter niet van elkaar te onderscheiden.

Voor het onderzoek van de systemen zirconium-zuurstof, zirconium-stikstof en zirconium-waterstof, kan men het best uitgaan van ductiele zirconiumstaafjes of van blanke draden, die door geheel koud bewerken van de staafjes zijn gevormd. Bij het onderzoek van de systemen met zuurstof of stikstof is het noodzakelijk de draden na de opname van de verschillende hoeveelheden gas geruimen tijd op een hooge temperatuur te verhitten om een volledige homogenisatie te bereiken. Het eenvoudigst is de verhitting door er een electrische stroom doorheen te zenden. Bij niet al te hooge gehaltes zijn de gevormde oplossingen uiterlijk niet te onderscheiden van het zuivere metaal. Ze vertoonen, wanneer werd uitgegaan van onbewerkte staafjes, nog dezelfde kristalvlakken en dezelfde hooge metaalglans. *Fig. 6* vertoont twee stukken van éénzelfde zirconiumstaaf (dikte ongeveer 3 mm). Het kortste stuk is in de oorspronkelijke toestand bewaard en is dus geheel zuiver en zeer ductiel. Het langste stuk bevat 13 atoom-

invoeren van zuurstof- of stikstofatomen in het metaalrooster. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat deze atomen in de open ruimten van het metaalrooster liggen. Waarschijnlijk zijn ze geheel onregelmatig over het rooster verdeeld. In *tabel 2* zijn vermeld de resultaten van enkele bepalingen van het volume en van het soortelijke gewicht (aan staafjes van 3 mm dikte) vóór en na de opname van bekende hoeveelheden stikstof of zuurstof.

De temperatuurcoëfficient van de electrische

Tabel 2

Samenstelling in atoomprocenten	Volumetoename	Soort. Gew.
100% Zr		6,540
98 % Zr + 2 % O	0,15%	6,555
98 % Zr + 2 % N	0,23%	6,546
90 % Zr + 10 % O	1,05%	6,600
87 % Zr + 13 % N	1,72%	6,577
78,5% Zr + 21,5% O	1,51%	6,755

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

weerstand daalt door oplossen van zuurstof of stikstof in het metaal. De volgende waarden werden gemeten:

Tabel 3

Samenstelling in atoomprocenten	Temperatuurcoëfficient v. d. electr. weerstand
100% Zr	0,00445
98% Zr + 2% O	0,00264
98% Zr + 2% N	0,00261

Voor zuurstof en stikstof wordt dus dezelfde verlaging van de temperatuurcoëfficient gevonden.

Toepassingen van metallisch zirconium

Vermengd met één of meer oxydatiemiddelen wordt fijn verdeeld zirconium toegepast als bliksemlichtpoeder, waarbij het groote voordeel is, dat het niet, zooals magnesiumpoeder, „rookt" en dus ook binnenshuis kan worden toegepast. (De oorzaak van het „rooken" van magnesium is, dat dit metaal reeds bij 1120°C een dampspanning van 1 atmosfeer bereikt, waardoor belangrijke hoeveelheden tijdens de verbranding in dampvorm overgaan, om onmiddellijk daarna tot een fijne nevel van magnesiumoxyde te verbranden).

Ook enkele andere toepassingen van zirconium berusten op de eigenschap van dit element om gemakkelijk en snel met verschillende gassen te reageeren, waarbij de gasdruk tot nul daalt, indien een overmaat metaal aanwezig is. Het wordt om deze reden bijv. als „getter" toegepast in ontladingsbuizen, speciaal in zendlampen. Het zirconium moet op een dusdanige plaats in de ontladingsbuis worden aangebracht, dat het de vereischte temperatuur heeft op het oogenblik, dat het zijn gasbindende werkzaamheid moet verrichten, of wel moet het zich electrisch op een zoodanige potentiaal bevinden, dat gevormde gasionen op het zirconium treffen en dan ter plaatse worden gebonden. De nuttige werking van het zirconium uit zich dan op twee wijzen. In de eerste plaats worden bij de fabricage de pomptijden aanmerkelijk verkort, doordat ook het zirconium als pomp fungeert. In de tweede plaats worden de kleine hoeveelheden gas, die tijdens het gebruik van de ontladingsbuis kunnen vrijkomen, direct gebonden. De temperatuur, die het zirconium moet aannemen, hangt af van de aard van het te absorbeeren gas en bovendien van de geaardheid van het zirconium zelve. Wordt gebruik gemaakt van ductiel (dus compact) zirconium en moet rekening worden gehouden met het vrijkomen van gassen zooals zuurstof, stikstof, koolmonoxyde en kooldioxyde (O_2, N_2, CO en CO_2), dan is het gewenscht, dat de temperatuur zoo hoog mogelijk is (bijv. 1400°C). Waterstof wordt echter bij deze hooge temperatuur voor een zeer groot gedeelte weer afgegeven (er stelt zich een evenwichtsdruk in). De meest gunstige temperatuur voor het opnemen van waterstof is 300 à 400°C, in welk temperatuurgebied een vaste oplossing van waterstof in zirconium nog geen merkbare gasdruk heeft, terwijl de absorptiesnelheid reeds zeer groot is. Moet dus behalve met zuurstof enz. tevens worden rekening gehouden met het vrijkomen van waterstof en waterdamp, dan is het gewenscht, dat behalve het op hooge temperatuur verhitte zirconium nog een hoeveelheid zirconium met een temperatuur van 300 à 400°C aanwezig is. Vaak is het mogelijk deze twee eischen te combineeren door het ziconium op een zoodanige plaats aan te brengen, dat verschillende deelen van het metaal op verschillende temperaturen worden verhit. Zeer goede resultaten worden dan verkregen, wanneer het temperatuurgebied zich van 300° tot bijv. 1400°C uitstrekt.

In vele gevallen kan het metallische zirconium ook worden toegepast in de vorm van een fijn poeder, dat bijv. op de anode van een zendlamp wordt aangebracht. Het fijn verdeelde zirconium reageert met de verschillende gassen bij een aanmerkelijk lagere temperatuur dan het compacte zirconium.

Het feit, dat zirconium groote hoeveelheden zuurstof en stikstof in vaste oplossing kan bevatten, is voor de toepassing als „getter" een groot voordeel. Er vormt zich bij voldoend hooge temperatuur niet een laag oxyde resp. nitride, die de verdere opname van gas belemmert, maar de zuurstof resp. stikstof diffundeert naar binnen, waardoor het metaaloppervlak voortdurend wordt hersteld.

Een geheel andere eigenschap van het zirconium, die voor toepassing in zendlampen van beteekenis is, is de kleine waarde van zijn secundaire emissie. Door het stuurrooster van een zendlamp van zirconium te vervaardigen of met zirconium te bedekken kan de secundaire emissie van dit rooster tot een onschadelijke waarde verminderd worden. Deze werking van zirconium treedt in dit geval gecombineerd met de gasbindende werking op. Ook door een rooster van molybdeen of wolfraam met zirkoonoxyde te bedekken is te bereiken, dat de secundaire electronenemissie voldoende verlaagd wordt. Voor nadere bijzonderheden over deze laatste werking van zirconium zij verwezen naar een artikel van H. G. Boumeester in dit tijdschrift (Philips techn. T. **2**, 115, 1937).

Hoewel zirconium zich, zooals uit het boven-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

staande blijkt, bij hoogere temperaturen (afhankelijk van de vorm, waarin het metaal zich bevindt) gretig met allerlei elementen verbindt of chemisch met allerlei verbindingen reageert, is het compacte metaal bij gewone temperatuur merkwaardig resistent. Deze resistentie moet worden toegeschreven aan een oxydehuidje, dat zich op het oppervlak vormt en dat bij gewone temperatuur nog niet in het metaal kan oplossen. Dit oxydehuidje, dat geheel onzichtbaar is, beschermt het metaal zoodanig, dat zirconium zijn glans onder alle omstandigheden behoudt en ook niet door zuren, basen of andere agressieve agentia wordt aangetast (uitgezonderd fluorwaterstofzuur). Dank zij deze eigenschap is zirconium een zeer geschikt metaal om bij chemische bewerkingen te worden toegepast, waar andere metalen snel zouden corrodeeren. Zoo wordt bijv. bij het beitsen of reinigen van metalen voorwerpen, die achtereenvolgens in alkalische en zure baden moeten worden gedompeld, zirconiumdraad als niet corrodeerende en de baden niet verontreinigende ophangdraad gebruikt, terwijl het daarbij tevens bij electrolyse als stroomtoevoerdraad kan dienen.

De hoogsmeltende zirconiumverbindingen

Het oxyde, het nitride en het carbide van zirconium smelten bij aanmerkelijk hoogere temperaturen dan het element zelf, zooals uit *tabel 4* moge blijken.

Tabel 4

Stof	Smeltpunt °C
Zirconium, Zr	1860°
Zirconiumoxyde, ZrO_2	2700°
Zirconiumnitride, ZrN	2980°
Zirconiumcarbide, ZrC	3530°

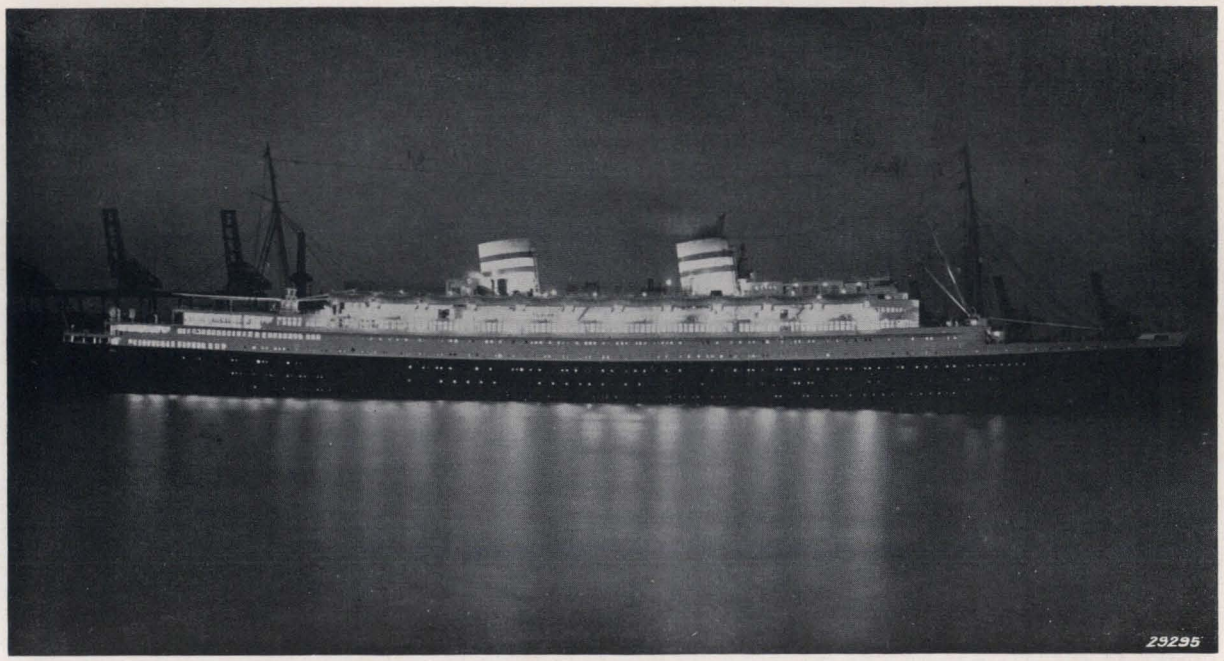
Het oxyde lost slecht op in glas en wordt daarom toegepast als een middel om glazuur en emaille troebel te maken. Verder wordt het toegepast voor het vervaardigen van super-vuurvaste voorwerpen in de vorm van smeltkroezen, buizen, gloeischuitjes, vuurvaste steenen, isolatoren, enz. Deze voorwerpen kunnen worden gebruikt tot temperaturen belangrijk boven 2000°C. Naast het hooge smeltpunt zijn voor deze toepassingen de kleine uitzettingscoëfficient en de chemische bestendigheid van belang. Worden de voorwerpen van zuiver ZrO_2 gemaakt, dan vertoonen ze bij verhitten neiging tot barsten als gevolg van de overgang bij 1000°C van een monokliene in een tetragonale modificatie, welke overgang gepaard gaat met een contractie van 7 volumeprocenten. Wordt het zirkoonoxyde echter vermengd met een paar procent magnesiumoxyde, dan vormt zich bij verhitten boven 1700°C een homogene, kubische mengkristal-phase, welke geen modificatieveranderingen ondergaat en om deze reden voor de vervaardiging van hoog-vuurvaste voorwerpen kan worden toegepast. Inplaats van magnesiumoxyde kunnen ook andere toevoegingen worden gebruikt, bijv. calciumoxyde of thoriumoxyde. Berylliumoxyde vormt met zirkoonoxyde een eutectisch systeem zonder vorming van mengkristallen. Met behulp van deze verbinding is het dus niet mogelijk de reversibele modificatieverandering in ZrO_2 te onderdrukken, daar we in het geheele systeem met mechanische mengsels te doen hebben. Toch schijnt BeO, wanneer het in combinatie met MgO wordt toegepast (bijv. 2 % MgO + 0,5 % BeO) een gunstiger werking te hebben dan MgO alleen.

Door de steeds hoogere eischen, die aan de vuurvastheid van vele ceramische producten worden gesteld, is het waarschijnlijk, dat voor stoffen als ZrO_2 op dit gebied nog vele mogelijkheden zijn weggelegd.

Zirconiumcarbide, ZrC, behoort tot de weinige stoffen, die een hooger smeltpunt dan wolfraam hebben. In de geschiedenis der gloeilampenindustrie heeft deze verbinding een rol gespeeld. Behalve een hoog smeltpunt heeft ze nl. een metallisch electrisch geleidingsvermogen, waardoor ze voor de gloeidraden der gloeilampen kon worden gebruikt. Door de uitvinding der wolfraamlamp werd echter ook deze stof verdrongen. Later is gevonden, dat een mengsel van 4 deelen tantaalcarbide en 1 deel zirkooncarbide de hoogst smeltende der tot nu toe bekende stoffen vormt. De twee carbiden vormen een ononderbroken reeks mengkristallen met een smeltpuntsmaximum bij de genoemde samenstelling. Het smeltpunt bedraagt bij deze samenstelling bijna 4000°C. (Bij dezelfde hooge temperatuur smelt een mengsel van 4 deelen tantaalcarbide en 1 deel hafniumcarbide). Zirkooncarbide behoort ook tot de metaalcarbiden met een zeer groote hardheid, waarvoor de laatste jaren een groote belangstelling bestaat in verband met de belangrijke toepassingen, die de carbiden van wolfraam, tantaal en titaan bij de metaalbewerking hebben gevonden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



SCHEEPSVERLICHTING

door L. C. KALFF.

628.972:629.123.3

Naar aanleiding van de verlichting van het s.s. „Nieuw Amsterdam" worden de belangrijkste gezichtspunten, die zich daarbij voordeden, besproken. Eenige foto's geven een indruk van de bereikte resultaten.

Het is niet zoo lang geleden, dat het vraagstuk van de verlichting bij het ontwerpen en bouwen van passagiersschepen nogal stiefmoederlijk werd behandeld. Men meende vroeger vooral zuinig te moeten zijn, zuinig in het aantal lampen, zuinig in het geïnstalleerde vermogen en zuinig in de verlichtingsmethode. Het streven naar een technisch goede verlichting met vermijding van groote verschillen tusschen licht en donker vond geen waardeering en op gelijkmatigheid en harmonie van de verlichting werd niet gelet.

Tegenwoordig denkt men hierover anders, althans waar het de verlichting van de groote moderne luxe schepen betreft. Daarbij gaat men uit van de gedachte, dat aan de passagiers hetzelfde gemak moet worden geboden als aan de gasten in een goed hotel op het vasteland. Hiertoe behoort zeker een aangename, voldoende en doelmatige verlichting. Gelukkig zijn de moderne lampen en armaturen zelf reeds zuiniger en bij eenzelfde wattverbruik is daardoor het aantal lumens waarover men beschikt grooter. Daarnaast maakt bij de tegenwoordige snelvarende schepen, zelfs bij een zeer ruim geprojecteerde lichtinstallatie, het vermogen van deze slechts een gering percentage uit van het in de krachtinstallatie opgewekte vermogen.

Voor de lichtinstallatie werd vroeger uit veiligheidsoverwegingen meestal 65 volt als bedrijfsspanning gekozen. Bij de tegenwoordige groote schepen zou door de veel grootere kabellengte bij deze bedrijfsspanning een groote doorsnede van de leidingen noodig zijn. Men kiest daarom thans de spanning hooger, nl. 110 en 220 volt.

Bij het ontwerpen van een scheepsverlichting moet men natuurlijk in hoofdzaak aandacht schenken aan de verschillende gedeelten van de boot, die door de passagiers worden gebruikt, dus aan hutten, gangen, eetzalen en verblijfruimten. In de eerste plaats moet het gewenschte verlichtingsniveau en daarnaast het verlichtingssysteem voor elk van deze ruimten afzonderlijk worden vastgelegd. Bovendien zal men op deze verschillende plaatsen de onderlinge verhouding der verlichtingssterkten dusdanig dienen te kiezen, dat bij een achtereenvolgens doorloopen van hutten, gangen, vestibules en zalen geen hinderlijke overgangen optreden. Zulke overgangen zouden tot verblinding aanleiding kunnen geven, of, wanneer men uit lichtere omgeving komt, een sombere, ongezellige

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

indruk van een ruimte geven.

In de hutten (*fig. 1* en *2*), waar de passagiers alles behoorlijk moeten kunnen zien, waar zij toilet maken en soms ook lezen, is een algemeene diffuse verlichting zonder donkere hoeken gewenscht. Lichte kleuren van de wanden kunnen hiertoe hun deel bijdragen. Een verlichtingsniveau van 85 lux is wel gewenscht.

Wil men een hut vergelijken met een goede hotelkamer dan komt men, natuurlijk binnen zekere grenzen, die het vastleggen van dit getal eenigszins willekeurig maken, tot een dergelijk verlichtingsniveau. Voor schepen die de tropische zeeën bevaren moet hierop een uitzondering worden gemaakt. Hier verlaagt op heete dagen de ventilatie met de grootste moeite de temperatuur enkele graden. De warmte-ontwikkeling van vele gloeilampen zou de taak van de ventilatie bemoeilijken en vooral directe straling zou hinderlijk zijn. In dit geval werkt men daarom tegenwoordig met kleine lichtbronnen, die plaatselijk, dus boven de toiletspiegel, op de schrijftafel en bij het bed als leeslamp voldoende verlichten. Een principieel andere oplossing zou de toepassing van gasontladingslampen zijn, die men in tegenstelling met gloeilampen „koud licht" kan noemen.

Fig. 1

Fig. 1 en 2. Voor de hutten aan boord van de „Nieuw Amsterdam" is een gemiddelde verlichtingssterkte van 85 lux aangenomen. Practisch moest, wegens de kleine verdiepingshoogte, van vele kleine eenheden gebruik gemaakt worden. De hutten hebben dubbele plafonds, zoodat speciale inbouwplafonniers gebruikt konden worden. Deze kunnen twee of drie liggend gemonteerde lampen van 65 Dlm bevatten. De ballon van opaalglas steekt 7 cm onder het plafond uit. Hierdoor worden te sterke contrasten op het plafond vermeden, terwijl toch de kans op beschadiging bij het binnendragen van koffers e.d. zeer gering is. Waar dat gewenscht leek, zijn nog opaalglazen „Philinea" buislampen van 25 en 40 W (30 resp. 50 cm lengte) aangebracht, bijv. boven de toiletspiegel, boven het schrijfbureau, enz. Deze lampen zijn in speciale fittingen opgehangen, die eventueele in het schip optredende trillingen dempen, zoodat de lampen ook op het schip de levensduur van normale gloeilampen kunnen bereiken. Ook in de kasten zijn lampen aangebracht, die bij het openen en sluiten der kastdeur automatisch aan- en uitgeschakeld worden.

In de normale gevallen is echter het genoemde niveau van 85 lux als richtlijn aan te houden. Gaat men van deze verlichting voor de hutten uit, dan volgen daaruit de eischen aan het verlichtingsniveau van de andere ruimten.

Fig. 2

Voor de gangen (*fig. 3*), waar het licht dag en nacht brandt, is mede in verband met de groote totale lengte wel eenige spaarzaamheid op zijn plaats. Natuurlijk mag het niveau niet zoo laag zijn, dat men komende uit de helder verlichte ruimten, dus bijv. de hutten, niet goed zou kunnen zien. Rekening houdende met het voor de hutten gekozen niveau van 85 lux bleek een verlichting met 40 lux doeltreffend te zijn.

De vestibules (*fig. 4*) en de eetzalen (*fig. 5*) moeten feestelijk en decoratief verlicht zijn. In het midden der zalen is op tafelhoogte

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

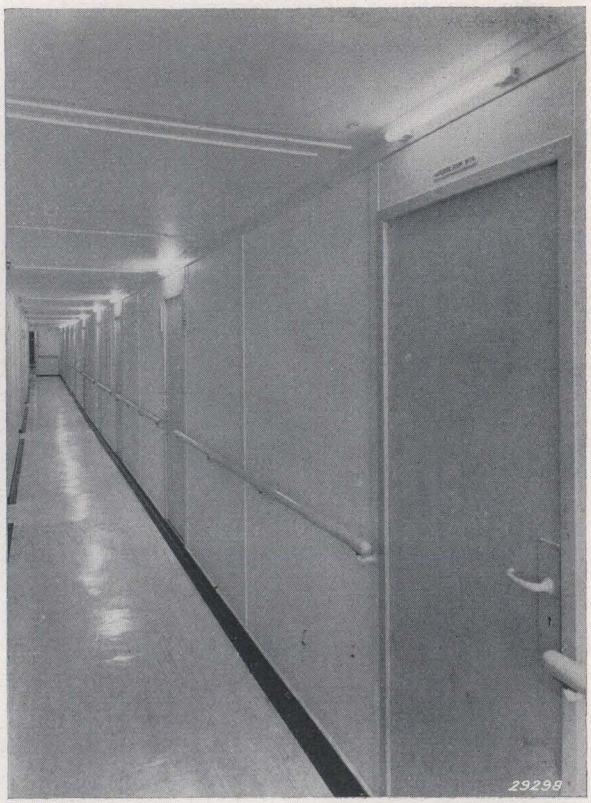


Fig. 3 (rechts). Een der gangen aan boord van de „Nieuw Amsterdam". Hier was niet veel keuze bij het aanbrengen der verlichting. De plafonds bestaan uit groote scharnierende luiken, waarachter leidingen verborgen zijn. De wanden moeten zoo glad mogelijk blijven, omdat bij het inschepen veel kruiers met zware hutkoffers op hun rug in de vrij smalle gangen circuleeren. Daarom werden de bijzonder weinig plaats innemende „Philinea" buislampen toegepast; zij zijn in de bovenste hoek van de gangen horizontaal boven elke deur aangebracht. Zoo is een vrij gelijkmatige verlichting van gemiddeld ongeveer 40 lux verkregen.

Fig. 4 (beneden). Groote vestibule van de „Nieuw Amsterdam". Deze vestibule dient dikwijls als entree vanaf de wal. Hier beschikte men over twee dekhoogten, waardoor gemakkelijker een goede gelijkmatigheid van de verlichting verkregen kon worden, vooral ook dank zij het lichte plafond en het bijna witte vloerkleed. Op iedere verdiepingshoogte is een doorgaande rij „Philinea" buislampen rondom de ruimte getrokken, terwijl aan de zijde van de trappen nog een rij „Philinea" lampen achter gematteerde glazen platen zijn gemonteerd. De verlichtingssterkte bedraagt gemiddeld 100 lux. Het relief, dat in mat verguld metaal op een groen gepatineerden bronzen achtergrond deze vestibule versiert, wordt nog van terzijde verlicht door een rij lampen die rondom in een lichtkoof zijn aangebracht (75 lampen van 25 W).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 5. Eetzaal touristenklasse van de „Nieuw Amsterdam". De hoofdverlichting is half indirect en bestaat uit een lichtkoof van Venetiaansch glas, die rondom het hooge middengedeelte van de zaal loopt. Het genoemde glas is gemaakt uit staven glas met kleine luchtbelletjes erin, die aaneen gesmolten en gebogen zijn en aldus elementen van 12 cm breedte vormen. Deze in de koof naast elkaar gerijde elementen zijn afwisselend zeer licht groen en rose. Daar de lichtpunten zwak door het glas zichtbaar zijn, moeten de lampen regelmatig achter de glaselementen geplaatst worden. In totaal zijn 172 lampen van 40 W in de koof gemonteerd. De rondom liggende lagere deelen van de zaal worden verlicht door 24 plafonniers en 16 wandappliques van hetzelfde Italiaansche glaswerk, ieder bevattende 3 lampen van 40 W. De verlichtingssterkte in het hooge middengedeelte van de zaal bedraagt 110-150 lux, in het lagere gedeelte 45 lux. De verlichting doet tevens de twee groote bas-reliefs aan de einden van de zaal goed uitkomen.

een hoog verlichtingsniveau van bijv. 120 lux gewenscht. Een hooger niveau, dus bijv. 120-200 lux, is voor de danszaal en evenzoo voor schrijf-, lees- en kaartkamers op zijn plaats. Een rookkamer daarentegen, waar men in hoofdzaak rustig wil zitten, vraagt niet meer dan omstreeks 60 lux.

Ligt het niveau der verlichting in hoofdzaak vast, dan vraagt het verlichtingssysteem de aandacht. In de hutten is een direct verlichtingssysteem op zijn plaats evenals in de gangen. In de zalen zal men om een goede gelijkmatigheid te verkrijgen een gemengd direct en indirect verlichtingssysteem kiezen. Mede door het optreden van reflexen komen dan tafelzilver, toiletten en sieraden goed uit. In weer andere gevallen (fig. 5) is koofverlichting gekozen.

Voor de uitvoering van de zoo vastgelegde richtlijnen dient men een keuze te doen uit de lamptypen en armaturen, waarmede men het beoogde effect kan bereiken. Hierbij biedt de geringe hoogte der verdiepingen een probleem, dat kenmerkend is voor scheepsverlichting in het algemeen. Daardoor is het noodzakelijk de lichtbronnen vlak tegen of zelfs gedeeltelijk in het plafond aan te brengen, waardoor dit zelf gedeeltelijk onverlicht blijft. Daar buitendien deze vertrekken dikwijls een groot vloeroppervlak hebben, zijn de hoeken, waaronder het door de wanden gereflecteerde licht invalt op de te verlichten horizontale vlakken, ongunstig; de bijdrage van de wanden tot de verlichting is daardoor slechts gering.

Het is onder deze omstandigheden niet gemakkelijk een gelijkmatige verlichting, zonder hinderlijke plaatselijke contrasten, tot stand te brengen. Waar dubbele plafonds aanwezig zijn, werden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

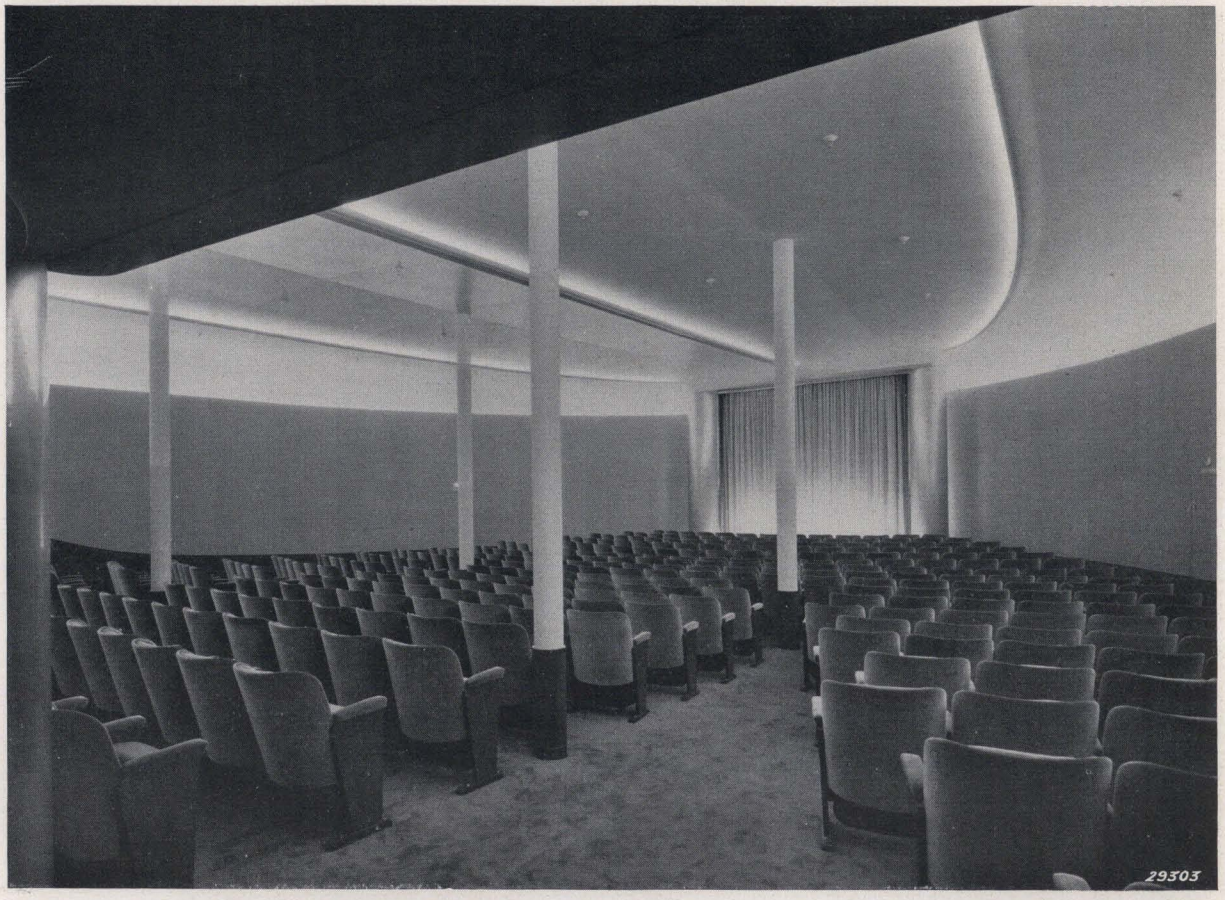


Fig. 6. Verlichting van de theater- en cinemazaal op de „Nieuw Amsterdam", die plaats biedt voor 350 personen. Om niets van de hoogte te verliezen moest de verlichting in wanden en plafonds worden ingebouwd. Langs drie nauwe lichtlijsten, waarin de flauw gebogen grensvlakken van het plafond samenkomen, werd een doorgaande buislampverlichting gelegd. Bovendien werd boven de wijnroode lambrizeering nog een lichtgoot gemaakt, waarin een dubbele rij buislampen werd ondergebracht.

daarvoor speciaal ontworpen inbouwplafonniers gebruikt. Het hiervoor geconstrueerde armatuur kan twee of drie liggend gemonteerde lampen tot 65 Dlm bevatten en heeft een 3 cm in het plafond verzonken rozet. Daarbij steekt dan de ballon van opaalglas slechts 7 cm onder het plafond uit. Door deze geringe afstand behoeft beschadiging van de ballons bij het binnendragen van groote hutkoffers niet voor te komen. Mede met het oog hierop is de verlichting in de gangen uitgevoerd met buislampen die zoo hoog mogelijk boven de deuren zijn geplaatst.

Deze opaal glazen „Philinea" buislampen van 25 en 40 W (30 en 50 cm lengte) zijn ook verder naast de plafonniers, waarvan de hutten er bijv. al naar gelang van de grootte één, twee of drie bevatten, overal waar dit gewenscht leek, geïnstalleerd. Ze worden in fittingen met dubbele veerende pistons bevestigd, waardoor eventueele trillingen in het schip gedempt worden. Men vindt deze buizen, behalve in de gangen, boven de toiletspiegel of het schrijfbureau, in een hoek van de hut waar men kan zitten lezen, en naast de spiegels boven de waschtafels. Boven de bedden zijn kleine afschermbare leeslampjes met buislampjes van 25 W aan de muur bevestigd.

Als toelichting geven we hier een aantal foto's van ruimten in de „Nieuw Amsterdam" van de Holland-Amerikalijn. Het ontwerpen der verlichting geschiedde door de technische dienst van de genoemde maatschappij, in samenwerking met alle architecten en decorateurs, die de interieurs hebben ingericht, en het Philips Lichtadviesbureau. Van de details der uitgevoerde verlichtingsinstallatie geeft het onderschrift der foto's telkens een beschrijving.

Met een enkel woord willen we ingaan op de rendementen der verlichting van schepen. In het algemeen zijn deze bij schepen slecht. Zelfs indien men lichte kleuren gebruikt, is toch door het inbouwen van de armaturen in de plafonds de bijdrage van het licht dat daardoor gereflecteerd wordt gering, en ook de wanden dragen weinig tot verbetering bij omdat de vertrekken bij een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 7

Fig. 8

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

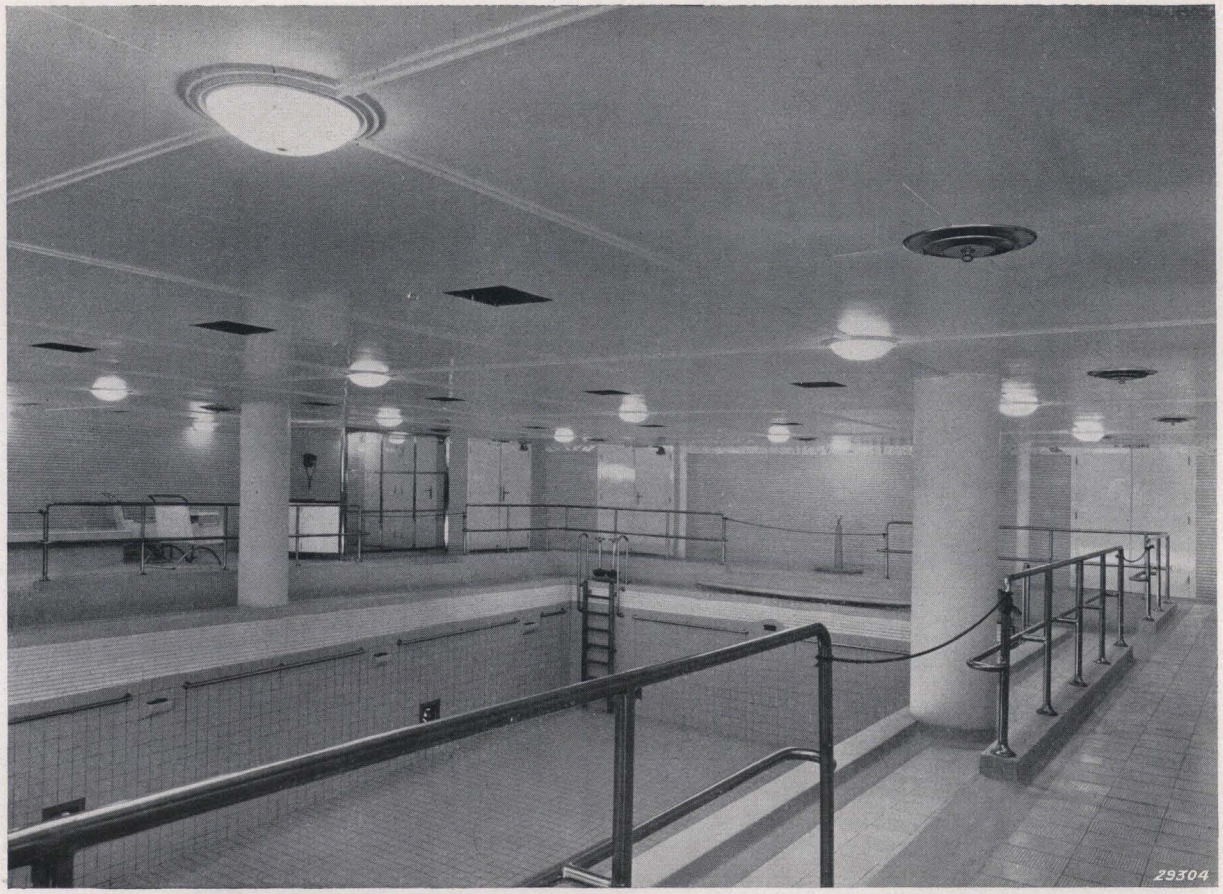


Fig. 9. Het zwembassin aan boord van de „Nieuw Amsterdam" heeft weer de voor schepen typische lage verdiepingshoogte. Voor de ingebouwde verlichting vanaf het plafond werden de in de tekst beschreven plafonniers gebruikt: Door voor de ballons „Philiphan" glas te gebruiken (zie Philips techn. T. 3, 47, 1938) krijgen alle kleuren meer diepte en steekt de kleur van de huid warm af tegen het fraaie groen van de tegels van het bassin.

geringe hoogte een groot oppervlak hebben.

Zoo werd bijv. in de eetzaal van het s.s. „Ruys" van de Koninklijke Paketvaartmaatschappij, dat eveneens door samenwerking van de technische dienst van de K.P.M. met ons Lichtadviesbureau werd verlicht, een gemiddelde verlichtingssterkte van 90 lux gemeten, terwijl de vloeroppervlakte 190 m² bedraagt. Hiervoor bleek het noodig in totaal 265 lampen van 40 W te installeeren. De 265 lampen geven een lichtstroom van $265 \times 450 = 119\,250$ lumen, waarvan op het vlak waarin de verlichting gemeten is $90 \times 190 = 17\,100$ lumen terecht komen. Het rendement is derhalve 14,3%. Men kan ook tot een maat voor het rendement komen, door het aantal lumens dat op het vlak valt, waarin ons de verlichting interesseert ($190 \times 90 = 17\,100$), te deelen door het totale aantal watts ($265 \times 40 = 10\,600$). Men vindt dan 1,6 lumen per watt, terwijl het rendement van de gebruikte 40 watt-lampen op zichzelf 11,25 lumen per watt bedraagt. In vergelijking met hetgeen men in andere gevallen kan bereiken zijn deze cijfers inderdaad opvallend laag.

Fig. 7 (blz. 366 boven). De „Grand Hall" van de „Nieuw Amsterdam". Dit is de verzamelplaats voor de gasten voor en na het diner. De verlichting is uitsluitend indirect. De geheele zaal is in lichtgrijs gehouden, als achtergrond voor de kleurige toiletten der dames en het zwart-wit van de heeren. Van achter alle gedecoreerde vlakken van wanden en plafond komt het licht glijden over egaal grijze achtergronden. Achter de pilasters en wandschilderingen zijn doorloopende lijnen van witte buislampen gemonteerd, achter het verlaagde, in gegoten aluminium uitgevoerde plafond loopen rijen lampen van 40 W, vier per strekkende meter. Voor de pilasters zijn vier groote glazen schalen en in de kolommen bij de ingangen van de zaal vier reflectoren geplaatst, die voor verdere verlichting van het plafond zorgdragen.

Fig. 8 (blz. 366 beneden). Derde klasse rookkamer van de „Nieuw Amsterdam". Hier is weer een andere oplossing gevonden voor het probleem, hoe men in de lage vertrekken van een schip afwisseling in de verlichting kan brengen. In het midden vormen gebogen melkglazen platen tezamen een groot lichtpaneel, waarachter de lampen verborgen zijn, terwijl aan de randen opaalglazen wandarmen en kleine ingebouwde armatuurtjes in het plafond licht geven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ZAALACOUSTIEK EN GELUIDSABSORPTIE

door R. VERMEULEN.

534.845

De geluidsabsorptie van de wanden speelt een belangrijke rol in de acoustiek van een zaal. In dit artikel wordt besproken, hoe de absorptie van geluid plaats vindt door dikke wanden, poreuze wanden en paneelen. Verder wordt aangegeven, op welke wijze men over het absorbeerend vermogen van verschillende materialen de gegevens verkrijgt, die noodig zijn om de nagalmtijd van een zaal vooruit te kunnen berekenen. Tenslotte wordt een voorbeeld gegeven van een berekening van de nagalmtijd van een zaal.

Teneinde de acoustiek van een zaal te verbeteren, ligt het meer voor de hand om het geluid langs kunstmatige weg te versterken [1]), dan om opzettelijk een gedeelte van de veelal geringe hoeveelheid geluidsenergie te vernietigen. Toch zal het den lezers van de vroeger gehouden beschouwingen over zaalacoustiek in verband met nagalm [2]) en verstaanbaarheid [3]) niet verwonderen, dat ook het vergrooten van het absorbeerend vermogen van de zaalwanden in vele gevallen een doeltreffend middel is, om hetzij de verstaanbaarheid van het gesproken woord te verbeteren, dan wel muziek beter tot haar recht te doen komen. Dat daarbij het geluid weliswaar aan sterkte inboet, is nooit een bezwaar, daar dit met versterkerinstallaties steeds te compenseeren is. Doordat de duur van het naklinken van voorafgaande klanken korter wordt, zal de spraak verstaanbaarder, de muziek helderder en klaarder worden. Te ver mag hiermee evenwel niet gegaan worden, omdat een zekere mate van naklinken, vooral voor muziek, onmisbaar is en de componisten ook bij het neerschrijven van hun werken, zij het wellicht onbewust, met een bepaalde nagalm rekening houden.

Om bij het ontwerpen van een concertzaal of schouwburg niet in den blinde te tasten, wat betreft de acoustiek, en eerst na meerdere mislukte en veelal kostbare pogingen met verschillende bekleedingen van de wanden een goed resultaat te bereiken, is het wenschelijk de nagalm te kunnen berekenen. In de bekende formule van Sabine [2]) voor de nagalmtijd [4]):

$$T = 0{,}16\,\frac{V}{A} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

zal steeds de waarde voor V, het volume van de zaal in m³, gemakkelijk ingevuld kunnen worden. De berekening van de totale absorptie A in m² vergt echter meer kennis. Deze totale absorptie is samengesteld uit de som van de absorpties van de verschillende wandvlakken [5]) en wordt uitgedrukt in „vierkante meters open raam", waarbij dit laatste volledig absorbeerend is ondersteld [6]). De absorptie A_i van ieder gedeelte der wanden wordt berekend uit het oppervlak S_i in m² en de absorptiecoëfficiënt a_i van het materiaal, waaruit het bestaat:

$$A = \Sigma A_i = \Sigma S_i a_i \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

De kennis van de absorptiecoëfficiënten a is de kern van het vooruitberekenen van de nagalmtijd van een zaal. Daar de verzwakking van de geluidsgolven plaats vindt bij de reflectie van de golven door de wanden, volgt nu allereerst een beschouwing over het mechanisme der terugkaatsing van golven in het algemeen.

Reflectie en absorptie

In de lucht plant het geluid zich voort als een longitudinale trilling, die gepaard gaat met een periodieke verandering van de luchtdruk. De momenteele waarde van deze wisselingen zullen wij de geluidsdruk p noemen. Deze is voor een vlakke golf evenredig met de momenteele waarde van de trillingssnelheid v. Het quotiënt p/v van geluidsdruk en trillingssnelheid is de zg. golfweerstand W van het materiaal [7]). De reflectie en de absorptie van een geluidsgolf bij overgang uit de lucht in een anders geaard materiaal worden uitsluitend bepaald door het verschil in golfweerstand van deze beide stoffen. De golfweerstand kan voorgesteld worden als het product van de dichtheid ϱ en de voortplantingssnelheid c van het geluid:

$$W = \frac{p}{v} = \varrho\, c. \quad \cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

[1]) J. de Boer, Philips techn. T. **3**, 225, 1938.
[2]) A. Th. van Urk, Philips techn. T. **3**, 65, 1938.
[3]) R. Vermeulen, Philips techn. T. **3**, 143, 1938.
[4]) Onder de nagalmtijd wordt verstaan de tijd, waarin het gemiddelde geluidsniveau in de zaal 60 db zakt.
[5]) De absorptie van de geluidsgolven in de lucht zelf, die bij hooge frequenties een rol kan spelen, wordt hier buiten beschouwing gelaten.
[6]) Ook wordt wel de absorptie in „Sabine" uitgedrukt, welke absorptie-eenheid dan overeenkomt met een „square foot open window" = 0,093 m² open raam.
[7]) R. Vermeulen, Philips techn. T. **2**, 47, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Valt een vlakke geluidsgolf loodrecht op het grensvlak tusschen twee stoffen met verschillende golfweerstand, dan kan deze golf niet in haar geheel doorloopen; dit volgt uit de overgangsvoorwaarden aan dat grensvlak. Deze vergen nl., dat aan beide zijden van het grensvlak zoowel de momenteele waarde van de druk p, als die van de trillingssnelheid v hetzelfde zijn. Is er aan beide zijden maar één golf, dan zou voor die beide golven dus ook de golfweerstand W, die immers gelijk is aan het quotiënt p/v, hetzelfde moeten zijn, terwijl juist vooropgesteld werd, dat de beide stoffen een verschillende golfweerstand zouden hebben. Aan de bovengenoemde overgangsvoorwaarden voor p en v kan nu echter wèl worden voldaan, indien er, behalve een doorgaande golf in de tweede stof, ook nog een teruggekaatste in de eerste stof ontstaat, die op de invallende golf gesuperponeerd is.

Geven wij de grootheden, die betrekking hebben op de invallende, teruggekaatste en doorgaande golf resp. aan met de indices 0, 1 en 2, dan gelden de vergelijkingen:

$$p_0 = W_1 v_0;\ p_1 = -W_1 v_1;\ p_2 = W_2 v_2 \text{ en} \quad (4)$$

$$p_0 + p_1 = p_2;\ v_0 + v_1 = v_2 \quad (5)$$

De druk en de snelheid van de teruggekaatste en de doorgaande golf zijn gemakkelijk uit deze verg. (4) en (5) te berekenen, zooals in het onderschrift van *fig. 1* is geschied. Voor de reflectiecoëfficiënt R, dat is de verhouding tusschen de geluidsdruk van de teruggekaatste en de invallende golf, vindt men dan:

$$R = \frac{p_1}{p_0} = \frac{-v_1}{v_0} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1} \quad (6)$$

Deze reflectiecoëfficient is dus een quotiënt van twee amplituden; voor de absorptiecoëfficiënt a is het echter niet de gewoonte een quotiënt van twee amplituden te nemen, maar deze definiëert men als de verhouding van de vermindering der intensiteit voor de teruggekaatste golf, tot de intensiteit der invallende golf (I_0), zoodat:

$$a = \frac{I_0 - I_1}{I_0} = \frac{I_2}{I_0}, \text{ of: } a = 1 - R^2, \quad (7)$$

waarin I_1 de intensiteit van de teruggekaatste golf en I_2 die van de doorgaande golf voorstelt. Voor de absorptiecoëfficiënt geldt dus:

$$a = \frac{4\ W_1\ W_2}{(W_1 + W_2)^2} \quad (8)$$

Teneinde de formules (6) en (8) te kunnen gebruiken, is het noodig de golfweerstand van lucht

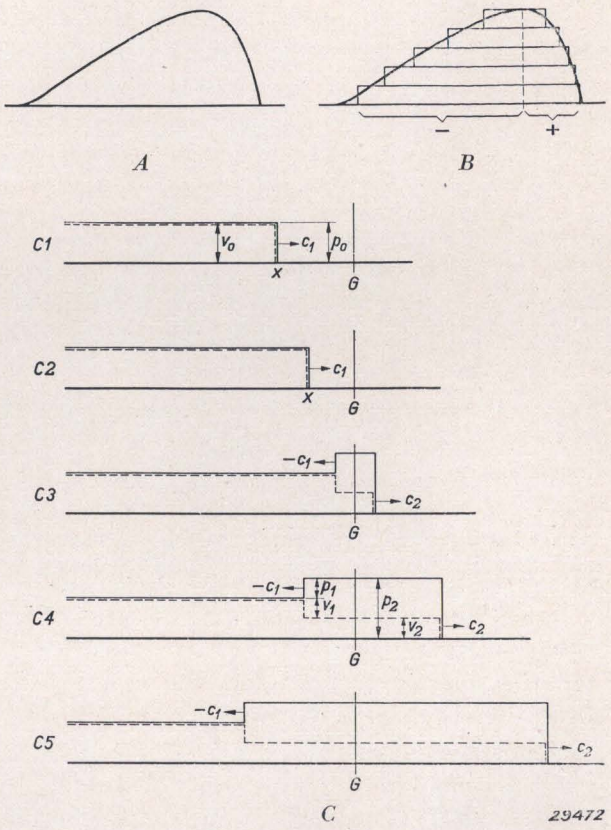


Fig. 1. *Terugkaatsing van een stootgolf.*

Het is voldoende om de reflectie van een „eenheidsimpuls" (zooals Heaviside deze noemde) te bespreken, omdat het steeds mogelijk is zich iedere willekeurige golf (A) voor te stellen als samengesteld uit een groot aantal positieve (+) en negatieve (−) elementaire impulsen (B). In een dergelijk eenheidsimpuls ($C1$) heerscht links van x een constante druk p_0 (getrokken lijn ———) en een naar rechts gerichte snelheid v_0 (gestreepte lijn — — —). Rechts van het punt x, waar het front van de golf zich op dit oogenblik bevindt, is alles nog in rust en heerscht de normale atmosferische druk. Het golffront verplaatst zich met de geluidssnelheid c_1 naar rechts ($C2$). In de golf is de verhouding tusschen de druk p_0 en de snelheid v_0, evenals in iedere vlakke golf, gelijk aan de golfweerstand: $W_1 = \varrho_1 c_1 = \frac{p_0}{v_0}$, waarbij ϱ_1 de dichtheid is.

Bij het bereiken van de grens G ($C3$) tusschen de beide media begint in het tweede medium een golf te loopen ($C4$), waarin de verhouding tusschen de drukverhooging p_2 en de snelheid v_2 nu gelijk moet zijn aan de golfweerstand in dit tweede medium: $W_2 = \varrho_2 c_2 = \frac{p_2}{v_2}$. Daar echter in het grensvlak de druk en de snelheid continu moeten zijn, moet een terugloopende golf (p_1; v_1) ontstaan, opdat aan de volgende vergelijkingen kan worden voldaan:

$$p_0 + p_1 = p_2 \text{ en } v_0 + v_1 = v_2,$$

waarbij tevens:

$$p_0 = W_1 v_0 \text{ en } p_2 = W_2 v_2,$$

terwijl in verband met de negatieve voortplantingsrichting van de teruggekaatste golf: $p_1 = -W_1 v_1$. Hieruit volgt:

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{-v_1}{v_0} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1},$$

$$\frac{p_2}{p_0} = \frac{2\ W_2}{W_2 + W_1} \text{ en}$$

$$\frac{v_2}{v_0} = \frac{2\ W_1}{W_2 + W_1}.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

en verschillende materialen te kennen. Daar bijv. voor lucht bij kamertemperatuur de dichtheid 1,2 mg/cm³ bedraagt en de voortplantingssnelheid van het geluid 340 m/sec. is, wordt de golfweerstand:

$$W_1 = 41 \text{ gr cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \quad \cdots \quad (9)$$

Bij de overgang van geluid uit de lucht in de een of andere wand hangt, hetgeen er gebeuren zal, sterk af van de wijze, waarop zich het geluid in deze wand voortplant. Als eenvoudigste geval zij ondersteld, dat de tweede stof homogeen en isotroop is en bovendien oneindig uitgestrekt aan de andere zijde van het grensvlak. Deze laatste onderstelling beteekent een verwaarloozen van de invloed der terugkaatsing aan andere grensvlakken. Daar vaste stoffen gemiddeld zeker een 1000 maal zoo groote dichtheid hebben als lucht, terwijl in het algemeen de geluidssnelheid daarin eveneens grooter is dan in lucht, zal ook de golfweerstand W_2 eenige duizenden malen zoo groot zijn als die van de lucht. Uit formule (8) volgt, dat een dergelijke wand vrijwel niets kan absorbeeren en dat er dus practisch totale reflectie van het geluid zal optreden, zooals formule (6) duidelijk laat zien. Als absorptiemateriaal zijn homogene, vaste stoffen dus uitermate ongeschikt!

In de praktijk heeft men in het algemeen niet met dit eenvoudige geval te maken. De wand is verre van oneindig dik en bovendien wordt ook in de met lucht gevulde poriën van vele technische materialen geluid geabsorbeerd. Alvorens nader hierop in te gaan, willen wij eerst onze beschouwingen over reflectie en absorptie uitbreiden voor scheef invallende golven.

Scheef invallende golven

Hoewel de behandeling in wezen dezelfde blijft, ontstaat een essentiëel verschil tusschen reflectie bij loodrecht en scheef invallende golven, doordat eenerzijds in de overgangsvoorwaarden klaarblijkelijk alleen onderlinge gelijkheid der *normale* componenten van de trillingssnelheid wordt verlangd, terwijl anderzijds bij de voortplanting van het geluid in de tweede stof de golfweerstand nog steeds de verhouding tusschen de druk en de *totale* trillingssnelheid aangeeft. De formules (4) blijven derhalve onveranderd, maar in plaats van de formules (5) komen nu de volgende:

$$p_0 + p_1 = p_2; \; v_0 \cos \Theta_0 + v_1 \cos \Theta_1 = v_2 \cos \Theta_2, \quad (10)$$

waarin $v \cos \Theta$ de normale componente van de snelheid is en de hoeken Θ zijn aangegeven in *fig. 2*. De formules (4) voor de golfweerstand kunnen op de volgende wijze geschikt worden gemaakt voor de scheeve inval:

$$p_0 = W_1 v_0 = \frac{W_1}{\cos \Theta_0} \cdot v_0 \cos \Theta_0 = \frac{W_1}{\cos \Theta_0} v_{n0},$$

enz. $\cdots$ (11)

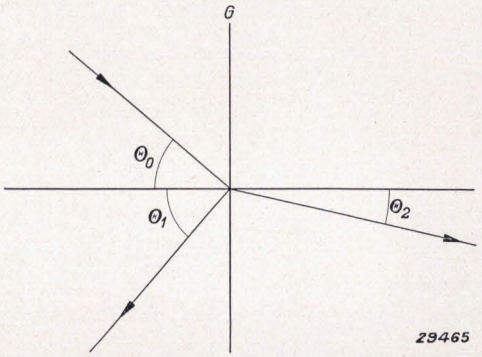


Fig. 2. Terugkaatsing en breking aan een grensvlak. Θ_0 hoek van inval, Θ_1 hoek van terugkaatsing en Θ_2 hoek van breking. Het verband tusschen de hocken Θ wordt gegeven door de wet van Snellius:

$$\frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \text{ en } \Theta_0 = \Theta_1.$$

zoodat in de formules (4) en (5) dan W door $W/\cos \Theta$ en v door v_n moet worden vervangen:

$$p_0 = \frac{W_1}{\cos \Theta_0} v_{n0}; \quad p_1 = \frac{-W_1}{\cos \Theta_1} v_{n1};$$

$$p_2 = \frac{W_2}{\cos \Theta_2} v_{n2} \quad \text{en} \cdots \quad (4^*)$$

$$p_0 + p_1 = p_2; \quad v_{n0} + v_{n1} = v_{n2} \quad \cdots \quad (5^*)$$

Hier blijkt dus, dat de absorptie afhangt van de hoek van inval. Uit deze formules zijn verder nog enkele merkwaardige conclusies te trekken. Zoo zal juist bij materialen, waarvoor $W_2 > W_1$ is, bij een bepaalde hoek Θ_1 de absorptie volkomen zijn en dus geen reflectie optreden, daar bij toenemende Θ_1 de $\cos \Theta_1$ sneller afneemt dan de $\cos \Theta_2$, zoodat tenslotte

$$\frac{W_1}{\cos \Theta_1} = \frac{W_2}{\cos \Theta_2} \quad \cdots \quad (12)$$

moet worden.

Voor grootere waarden van Θ_1 wordt de reflectiecoëfficient negatief, hetgeen wil zeggen, dat door de teruggekaatste golf de drukwisseling aan de wand kleiner wordt, dan in de ongestoorde invallende golf het geval is.

Indien verder de voortplantingssnelheid c_2 in het tweede medium grooter is dan in het eerste (c_1), zal evenals bij licht totale reflectie ontstaan bij een invalshoek grooter dan arc sin c_1/c_2. Het verschil met licht is evenwel, dat deze totale reflectie bij

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

licht alleen optreedt bij het overgaan van de golf uit bijv. glas in lucht, bij *geluid* daarentegen, juist bij overgang van de lucht in een vaste stof. Erg belangrijk is dit overigens niet, daar de reflectie-coëfficiënt aan vaste stoffen, zooals reeds werd gezegd, toch meestal zeer dicht bij 1 ligt.

Loopt een geluidsgolf parallel aan een absorbeerend oppervlak, dan is dit een grensgeval voor $\Theta_1 \to \pi/2$, dwz. cos $\Theta_1 \to 0$. De reflectie-coëfficiënt wordt dan:

$$R \to -1\,; \quad \cdots\cdots\cdots \quad (13)$$

dit beteekent, dat de gereflecteerde en de invallende golf elkaar juist zullen compenseeren, want overal is nu:

$$p_1 = -p_0 \text{ en } v_1 = -v_0\,. \quad \cdots \quad (14)$$

Inderdaad hebben ook experimenten reeds aangetoond, dat bij scherend invallen op een wand de primaire golf verdwijnt. In *fig. 3* zijn de desbetreffende resultaten van von Békésy[8]) weergegeven.

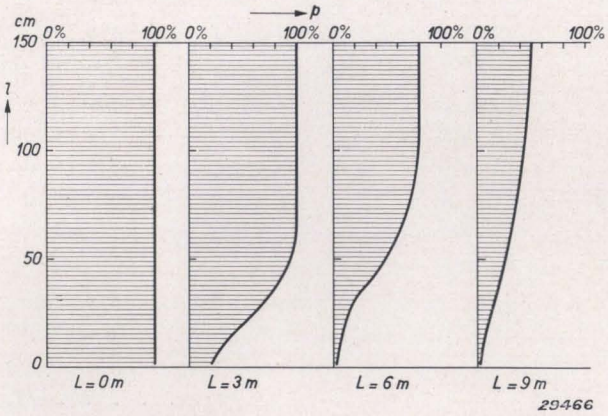


Fig. 3. Een vlakke geluidsgolf, die evenwijdig aan een wand van absorbeerend materiaal voortschrijdt, wordt vlak bij deze wand in sterkte verzwakt. Naarmate deze golf over een langere afstand langs de wand is voortgeloopen, kan men deze verzwakking tot op grootere afstand van de wand reeds bemerken. De geluidsdruk p in % van de ongestoorde waarde is, in afhankelijkheid van de afstand l tot de wand, uitgezet voor eenige waarden van de door de geluidsgolf afgelegde weg L langs de wand.

Poreuze materialen

De meeste wanden absorbeeren het geluid in hoofdzaak niet, omdat zij onder de invloed van de geluidstrilling zelf bewegen, maar doordat zich in het materiaal vele poriën bevinden, waarin de geluidsgolf zich voortplant. Door haar viscositeit wordt de beweging van de lucht langs de wanden der kanaaltjes geremd, wat aanleiding geeft tot het dempen der geluidsgolven. Teneinde de invloed van deze demping na te gaan, nemen wij de bewegingsvergelijkingen, die aan de golfbeweging ten grondslag liggen, als uitgangspunt.

[8]) G. von Békésy, Z. techn. Phys. **14**, 6, 1933.

Voor een vlakke golf, die in de x-richting loopt door een homogeen materiaal zonder inwendige wrijving, geldt de differentiaalvergelijking:

$$-\frac{\delta p}{\delta x} = +\varrho\,\frac{\delta v_x}{\delta t}\,, \quad \cdots\cdots \quad (15)$$

welke tot uitdrukking brengt, dat de kracht, die op de eenheid van volume werkt, gelijk is aan de massa maal de versnelling. Is nu een wrijving aanwezig, dan zal bovendien een drukverschil tusschen vóór- en achterkant van het volume-element noodig zijn, die deze weerstand overwint. Deze toename zij evenredig met de snelheid v_x. Dan wordt de differentiaalvergelijking:

$$-\frac{\delta p}{\delta x} = +\varrho\,\frac{\delta v_x}{\delta t} + r\,v_x\,, \quad \cdots \quad (16)$$

waarbij de factor r de soortelijke weerstand genoemd kan worden. Bij sinusvormige trillingen met een frequentie $\omega/2\pi$ kan hiervoor geschreven worden:

$$-\frac{\delta p}{\delta x} = (j\omega\varrho + r)\,v_x = j\omega\varrho\left(1 - j\,\frac{r}{\omega\varrho}\right)v_x = \\ = \varrho\,(1 - j/\nu)\,\frac{\delta v_x}{\delta t}\,, \quad \cdots \quad (17)$$

waarbij dus een „gereduceerde frequentie"

$$\nu = \omega\,\varrho/r \quad \cdots\cdots\cdots \quad (18)$$

is ingevoerd. Door de formules (15) en (17) met elkaar te vergelijken, blijkt, dat men in de vroegere formules slechts ϱ te vervangen heeft door $\varrho\,(1-j/\nu)$. Daar de geluidssnelheid omgekeerd evenredig is met de wortel uit de dichtheid, wordt deze gewijzigd tot $c = c_0/\sqrt{1 - j/\nu}$. Door een dergelijke complexe voortplantingssnelheid wordt uitgedrukt, dat de golven bij hun voortplanting bovendien in amplitude verminderen. Voor het gedrag van de geluidsgolf in de kanaaltjes van de tweede middenstof geldt nu dus op zichzelf een golfweerstand:

$$W_2' = \varrho_0\,(1 - j/\nu)\cdot\frac{c_0}{\sqrt{1 - j/\nu}} = \varrho_0\,c_0\,\sqrt{1 - j/\nu}. \quad (19)$$

Daar echter slechts een gedeelte σ van een doorsnede evenwijdig aan het grensvlak door de luchtkanaaltjes wordt ingenomen en het gedeelte $1-\sigma$ dus geen luchtverplaatsingen toelaat, schijnt naar buiten toe de golfweerstand W_2 der kanaaltjes $1/\sigma$ maal zoo groot te zijn:

$$W_2 = \frac{W_2'}{\sigma} = \frac{\varrho_0 c_0}{\sigma}\,\sqrt{1 - j/\nu}\,. \quad \cdots \quad (20)$$

Met behulp van deze waarde W_2 van de golfweerstand kan de absorptie berekend worden van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

een laag van poreus materiaal, die vóór een zware wand is geplaatst. Deze zal afhangen van de dikte d van de laag, de soortelijke weerstand r en de frequentie $\omega/2\pi$. Het zal dan blijken, dat het mogelijk [9]) is om de absorptiecoëfficient α uit te drukken in twee dimensielooze combinaties van deze grootheden, nl. de reeds ingevoerde, „gereduceerde frequentie" ν en de „gereduceerde weerstand":

$$\delta = \frac{dr}{\varrho_0 c_0} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (21)$$

De waarde dr is nl. de gelijkstroom-weerstand van een laag met dikte d, die dus eventueel zou kunnen worden gemeten door de luchtstroom te bepalen, die onder de werking van een klein drukverschil tusschen vóór- en achterzijde vloeit. In *fig. 4* is voor verschillende waarden van δ als parameter de absorptiecoëfficiënt α uitgezet in afhankelijkheid van ν. Hieruit ziet men, dat de absorptie naar lagere frequenties sterk afneemt, hetgeen ook begrijpelijk wordt, wanneer men bedenkt, dat zich aan de wanden knooppunten der luchttrillingen vormen, zoodat eerst op een afstand van de orde van $\lambda/2\pi$ van de wand verwijderd de luchtsnelheid een belangrijke waarde kan verkrijgen. Is de wand veel dunner dan $\lambda/2\pi$, dan mag men derhalve niet verwachten, dat door de wrijving van de luchtbeweging in de poriën veel energie kan worden vernietigd.

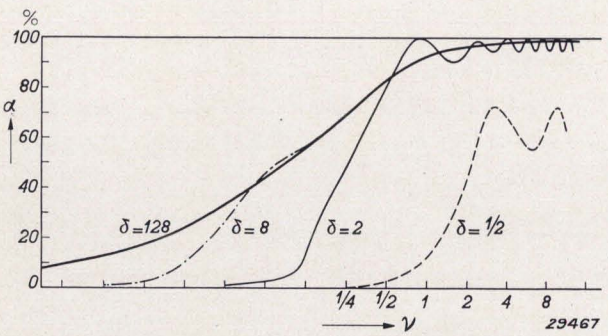


Fig. 4. De absorptiecoëfficiënt α van het poreuze materiaal, vóór een harde wand aangebracht, wordt hierboven gegeven als functie van de „gereduceerde frequentie" $\nu = \omega\varrho/r$, met als parameter de grootheid $\delta = \frac{dr}{\varrho_0 c_0}$. Bij groote gelijkstroomweerstand ($\delta = 128$) van de wand, (d.i. groote dikte of hooge soortelijke weerstand, dus kleine poriën) is de absorptie bij lage frequenties (d.i. golflengte grooter dan de wanddikte, dus $\nu < {}^1/_{20}$) klein en neemt bij toenemende frequentie regelmatig toe, tot bij hoogere frequenties ($\nu > 4$) de absorptie vrijwel volkomen wordt. Bij kleinere waarden ($128 > \delta > 1$) van de weerstand is het gedrag voor frequenties, die een golflengte kleiner dan zesmaal de wanddikte bezitten, vrijwel hetzelfde, doch de absorptie neemt naar lagere frequenties snel af. Voor zeer kleine waarden van de weerstand ($\delta < 1$) wordt de volkomen absorptie niet bereikt: de reflectie aan de harde achterwand wordt steeds minder gestoord; wèl wisselt de absorptie voor verschillende frequenties door het optreden van staande trillingen in het materiaal.

[9]) L. Cremer, Elektr. Nachr. Techn. **10**, 242, 1933; **12**, 338, en 366, 1935.

Wanneer men inziet, dat een der moeilijkheden voor het verkrijgen van een hooge absorptiecoëfficiënt daarin gelegen is, dat de reflectie aan de vóórzijde vermeden dient te worden, dan zal men trachten een materiaal uit meerdere lagen samen te stellen, zoodanig, dat van de vóórste laag de golfweerstand slechts weinig van die in de vrije lucht afwijkt en successievelijk de weerstand van de lagen wordt opgevoerd om de golf voldoende te absorbeeren. Echter levert dit bij matige dikte van de wandbekleeding geen zoo groote verbetering op, dat dit tegen de complicaties zou opwegen.

Bewegende paneelen

Niet slechts de aanwezigheid van de, in het voorafgaande besproken, poriën kan een wand geschikter maken om geluid te absorbeeren. Het is bekend, dat zalen met een houten betimmering vaak goede acoustische eigenschappen bezitten. De dikte van zulke houten paneelen is steeds zoo klein ten opzichte van de golflengte van hoorbaar geluid, dat de onderlinge phaseverschillen der bewegingen in de wand uiterst gering zijn, zoodat van golfvoortplanting *in* het paneel nauwelijks kan worden gesproken. Het gedrag van een dergelijke, dunne wand wordt nu in plaats van door een golfweerstand gekarakteriseerd door zijn bewegingsimpedantie Z_2, die de verhouding aangeeft tusschen de kracht F, werkende op de wand en de snelheid v, die hij dientengevolge verkrijgt:

$$Z_2 = \frac{F}{v} = \frac{p}{v} S, \quad \cdots\cdots \quad (22)$$

waarin S het oppervlak van de beschouwde dunne wand voorstelt. Uit deze vergelijking (22) ziet men, dat nu de bewegingsimpedantie per eenheid van oppervlak, Z_2/S, de plaats inneemt van de golfweerstand, $W = p/v$, bij de oneindig dikke wand, zoodat nu voor de reflectiecoëfficiënt bij loodrechte inval de volgende vergelijking in de plaats van (6) komt:

$$R = \frac{p_1}{p_0} = \frac{-v_1}{v_0} = \frac{Z_2/S - W_1}{Z_2/S + W_1}. \quad \cdots \quad (23)$$

Plaatst men het paneel vast tegen een zware muur, dan zal de impedantie van de wand daardoor groot zijn. Bij bevestiging op tengels met een luchtruimte tusschen wand en paneel is het veel bewegelijker. Het luchtkussen zal als een elastische veer werken en de resonantiefrequentie van de wand zoodanig verhoogen, dat men bij haar berekening een behoorlijke benadering krijgt door het paneel zelf als volkomen slap te behandelen en

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

slechts rekening te houden met de stijfheid van het luchtkussen en de massa van het paneel.

Uitgaande van de wet voor adiabatische toestandsverandering van een gas $pV^{\varkappa} = \text{constant}$, vindt men door differentiatie:

$$\frac{\Delta p}{p} + \varkappa \frac{\Delta V}{V} = 0 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (24)$$

De mechanische stijfheid van een luchtkussen met een oppervlak S en een dikte d wordt gedefinieerd als de verhouding van de kracht ΔK op het oppervlak tot de daardoor veroorzaakte dikteverminding $-\Delta d$.

$$-\frac{\Delta K}{\Delta d} = -\frac{S\Delta p}{\Delta V/S} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} \cdot S^2 \cdot \cdot \quad (25)$$

De stijfheid per eenheid van oppervlak wordt derhalve:

$$-\frac{\Delta p}{\Delta V} \cdot S = +\frac{\varkappa p}{V} S = +\frac{\varkappa p}{d} = \frac{\varrho c^2}{d}, \quad (26)$$

daar de geluidssnelheid gegeven is door $c = \sqrt{\varkappa p/\varrho}$. Voor een massa m per eenheid van oppervlakte van het paneel volgt voor de resonantiefrequentie f:

$$2\pi f = \omega = \sqrt{\frac{\varrho c^2}{dm}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (27)$$

In de buurt van deze frequentie kan de impedantie Z_2 van de wand veel geringer zijn dan zonder het luchtkussen het geval zou zijn. Daardoor wordt het mogelijk, dat de waarden van Z_2/S en W_1 (de golfweerstand van de lucht) in formule (23) meer tot elkaar naderen, waarmede aan de voorwaarde voor een kleinere reflectiecoëfficiënt beter wordt voldaan. Door het paneel wordt dan van de opvallende golven energie overgenomen, en het zal van de demping afhangen, welk gedeelte hiervan vernietigd, en welk gedeelte later weer als geluidsenergie uitgestraald zal worden. Het schijnt, dat onder bepaalde omstandigheden dit laatste wel tot hinderlijke verlenging van de nagalm bij een bepaalde frequentie aanleiding kan geven, doch meestal zal door een voldoend snelle demping de absorptie groot zijn en de nagalm juist bij de resonantiefrequentie verkort worden. Uit experimenten van Erwin Meyer [10]) is evenwel gebleken, dat de bovenstaande beschouwingen wat te simpel zijn.

Het is wel waar, dat meestal de dikte van het luchtkussen zoo gering is ten opzichte van de golflengte, dat dit inderdaad in een groot frequentiegebied als een eenvoudige veer kan worden opgevat, doch de andere afmetingen van het luchtkussen zijn veelal zoodanig, dat hier wel degelijk staande trillingen mogelijk zijn, die niet alleen de theorie onoverzichtelijk maken, doch ook de absorptie sterk verminderen. Worden deze trillingen verhinderd (door de luchtruimte door schotten onder te verdeelen), of gedempt (door vulling), dan blijkt een betere overeenstemming met de metingen te bestaan (*fig. 5*). Voor de demping is

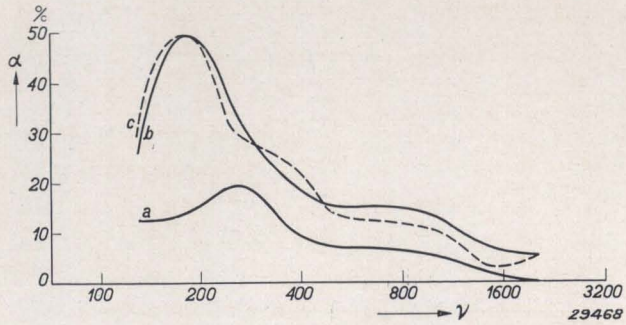


Fig. 5. Absorptiecoëfficiënt α per m² in % uitgezet in afhankelijkheid van de frequentie in Hz, voor 5 mm dikke triplex paneelen van 1,5 m bij 1 m, aangebracht op 5 cm voor de wand.
a) ongedempt luchtkussen,
b) luchtkussen opgevuld met 4 cm watten,
c) slechts de randen van het luchtkussen zijn met 5 cm watten afgesloten.

het daarbij niet noodzakelijk de luchtruimte geheel met een poreuze stof op te vullen (fig. 5b); het is reeds voldoende, indien langs de randen bijv. een 5 cm dikke laag watten aangebracht wordt (fig. 5c).

Door het paneel meer of minder te perforeeren en de luchtruimte met poreus materiaal op te vullen, kan men een geleidelijke overgang van de eigenschappen van een bewegend paneel in die van een poreus materiaal verkrijgen. Daartoe behoeven de gaten niet groot te zijn: bij 4% gat is reeds een invloed merkbaar, terwijl bij 15% reeds voornamelijk de poreuze vulling werkzaam is.

Het groote belang van deze resoneerende paneelen is, dat men daarmede een groote absorptiecoëfficiënt kan bereiken in het gebied der lage frequenties, waar, zooals bleek, de poreuze stoffen ons in de steek laten. Daarbij bestaat door de keuze van de dikte van het luchtkussen nog de vrijheid, de maximale absorptie bij een gewenschte frequentie te leggen. Men vindt wel aangegeven [11]), dat in zalen met korte berekende nagalm, de acoustiek door houten resoneerende paneelen verbeterd wordt, welke ervaring waarschijnlijk zoodanig moet worden geïnterpreteerd, dat daardoor het verloop van de nagalm als functie van de frequentie vlakker wordt.

Meten van de absorptie

Weliswaar geven de voorafgaande beschouwingen

[10]) E. Meyer, Elektr.-Nachr. Techn. **13**, 98, 1936.

[11]) H. Baginall and A. Wood, Planning for good acoustics, p. 137, Methuen & Co. Ltd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

eenig inzicht in de wijze, waarop geluidabsorbeerende stoffen werken, echter blijft het toch zeer gewenscht aan een monster van het materiaal de absorptie direct te meten. Men zou bijv. de reflectiecoëfficiënt onder verschillende invalshoeken kunnen bepalen en daaruit het gemiddelde van de absorptiecoëfficiënten over de verschillende richtingen berekenen volgens de formule:

$$\alpha_r = 2 \int_0^{\pi/2} \alpha\,(\Theta)\ \sin\Theta\ \cos\Theta\ d\,\Theta, \quad (28)$$

waarin aan de verschillende absorptiecoëfficiënten een gewicht is toegekend evenredig aan de ruimtehoek, waarvoor zij geldig zijn. Het is echter nog een open vraag, of deze formule de waarde van de absorptiecoëfficiënt levert, welke in de formule van Sabine gebruikt moet worden ter berekening van de nagalmtijd. Derhalve zal men er de voorkeur aan geven, de absorptiecoëfficiënt te bepalen door aan betrekkelijk kleine monsters de verandering te meten van de nagalmtijd van een proefruimte waarin dit materiaal resp. niet en wel is aangebracht.

Is het volume van de proefruimte V, het oppervlak van het proefmateriaal S_2 en de nagalmtijd zonder en met het proefmateriaal resp. T_1 en T_2, dan leveren de formules (1) en (2) voor de absorptiecoëfficiënt:

$$\alpha = 0{,}16\ \frac{V}{S_2}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (29)$$

Teneinde aan zoo weinig mogelijk proefmateriaal toch zoo nauwkeurig mogelijke metingen van de absorptiecoëfficiënt te kunnen verrichten, dient men de eigenabsorptie van de zaal, waarop die van het proefmateriaal wordt gesuperponeerd, zoo klein mogelijk te houden. De proefruimten voor deze absorptiemetingen moeten dus z.g. „harde" kamers zijn (Hallräume, reverberation chamber). Hierbij blijken echter de afwijkingen van de wet van Sabine naar voren te komen, waardoor de gemeten absorptiecoëfficiënt niet onafhankelijk is van

1) de plaats van het monster in de kamer,
2) de grootte van het monster,
3) de absorptie van de overige wanden,
4) de grootte van de harde kamer.

Men kan in het algemeen zeggen, dat te kleine monsters een te groote absorptiecoëfficiënt vertoonen en dat de andere invloeden vooral merkbaar worden bij materialen met groote absorptiecoëfficiënten. Dat het hierdoor moeilijk wordt om de uitkomsten van verschillende laboratoria met elkaar te vergelijken, blijkt uit de resultaten van internationaal vergeleken metingen [12]). Aan hetzelfde materiaal werden bijv. bij 256 Hertz waarden voor de absorptiecoëfficiënt gemeten, die van 0,33 tot 0,58 uiteenliepen en bij 512 Hertz van 0,69 tot 0,99. In *fig. 6* is de invloed van de grootte

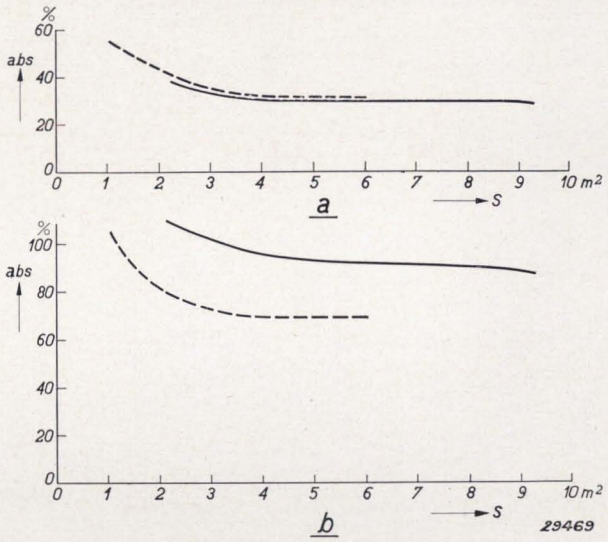


Fig. 6. Absorptiecoëfficiënt in afhankelijkheid van het oppervlak van het absorbeerende materiaal bij 256 Hz (*a*) en bij 512 Hz (*b*), gemeten door twee verschillende Amerikaansche laboratoria, resp. getrokken en gestippeld.

van het monster op de absorptiecoëfficiënt weergegeven. Hoewel men hieruit kan zien, dat bij voldoend groote afmetingen van het monster een vrijwel constante absorptiecoëfficiënt wordt bereikt, blijkt zelfs deze eindwaarde voor twee verschillende laboratoria toch niet steeds dezelfde te zijn.

Als bijzonderheid zij nog vermeld, dat in een buitengewoon groote, harde proefruimte 1 m² slakkenwol bij 2900 Hz aanleiding gaf tot een „record"-waarde van 300% voor de volgens formule (7) berekende absorptiecoëfficiënt. Men moet deze afwijkingen evenwel niet àl te tragisch opvatten, omdat zij vooral optreden onder extreme

Tabel I

Absorptie bij 512 perioden per sec.

Open raam	100%
Tooneelopening	25 ÷ 40%
Gordijnen	15 ÷ 50%
Vloerkleed	20 ÷ 40%
Slakkenwol	60—80%
Vilt	50—80%
Acoustische pleister	38—70%
Baksteen muur	3%
Hout	6—10%
Met publiek bezet vlak	96%
Per persoon	0,5 m² open raam
Per onbezette stoel (bekleed).	0,3 m² „ „
Per onbezette stoel (onbekleed)	0,03 m² „ „

[12]) R. M. Morris, G. M. Nixon en J. S. Parkinson, J. acoust. Soc. Amer. **9**, 237, 1938 en E. Meyer, Akust. ZS. **2**, 180, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tabel II

Berekening van de nagalmtijd van Queen's Hall, London.

Volume van de zaal: 12000 m³
Aantal zitplaatsen: 2026
Volume per plaats: 5,9 m³

Materiaal	Oppervlak in m²	Absorptie-coëfficiënt	Absorptie in m² open raam
Harde pleister . . .	1800	0,025	45
Glas	100	0,027	3
	17	0,5	8
Houten paneelen . .	470	0,1	47
	140	0,1	14
Geschilderd doek op hout	110	0,12	13
Houten vloer en tooneel	1050	0,06 (-10%)	56
Vloerkleed	445	0,2 (-10%)	80
Linoleum	300	0.03	9
Orgelkast	100	0,08	8
Bekleede stoelen . .	2026 stuks	0,12 m² per stoel	243

soort bezetting	aantal personen	absorptie in m² per persoon	absorptie in m² open raam
orkest . . .	90	0,44	40
koor	250	0,44	100
publiek (vol)	2026	0,32	650
publiek (1/3) .	675	0,32	220

aard der bezetting	totaal absorberend oppervlak in m²	nagalmtijd in sec.
leege zaal . .	526	3,6
koor + orkest	666	2,9
1/3 publiek + koor + orkest	886	2,2
publiek + koor + orkest	1316	1,4

voorwaarden en bij meer normale omstandigheden en verstandige toepassing behoorlijke resultaten verkregen kunnen worden. Ter oriëntatie zijn in *tabel I* enkele in de literatuur voorkomende waarden van de absorptie voor verschillende materialen vermeld.

De belangrijkste bijdrage tot de totale absorptie van een zaal is niet alleen moeilijk te meten, doch daarbij bovendien wisselend, daar zij geleverd wordt door het publiek. De reeds vroeger aangeduide methode [13]) maakt het mogelijk, om zonder hinder tijdens een concert de absorptie-coëfficiënt te bepalen (zelfs bij verschillende frequenties door gebruik te maken van filters). Ook hier blijkt het moeilijk van één bepaalde absorptiecoëfficiënt of van een absorptie in m² open raam per persoon te spreken: een geheel bezette zaal geeft een belangrijk kleinere absorptie per persoon dan een half bezette (*fig. 7*). Anderzijds is dit een gelukkige omstandigheid, omdat hierdoor de nagalmtijd minder zal varieeren met wisselende bezetting. Het zal ter wille van het vermijden van groote verschillen goed zijn, zooveel mogelijk zwaar bekleede stoelen toe te passen, welke de absorptie van het ontbrekende publiek kunnen vervangen.

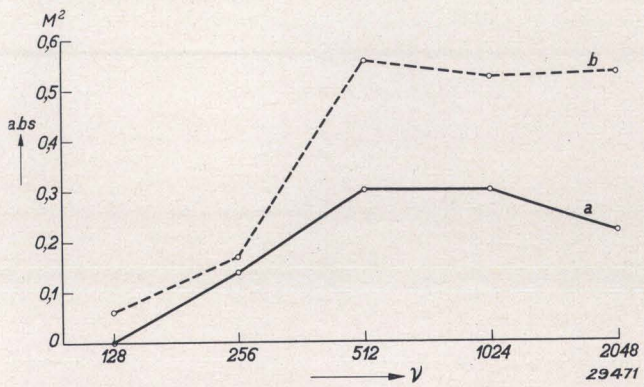


Fig. 7. Het verloop van de absorptie per persoon in een zaal als functie van de frequentie ν:
a) bij volle en
b) bij halve bezetting.

Berekening van de nagalmtijd

In *tabel II* [14]) is een voorbeeld gegeven van de berekening van de nagalmtijd van een zaal, de bekende Queen's Hall in London. Voor de verschillende materialen is het oppervlak berekend en de absorptiecoëfficiënt geschat. Voor de stoelen is een absorptie per stoel genomen. In enkele gevallen is 10% afgetrokken, omdat deze oppervlakken niet geheel vrij aan het geluid zijn blootgesteld. In de tweede helft is de absorptie afzonderlijk berekend voor de verschillende groepen menschen, die in de zaal aanwezig zijn. Daarbij is

[13]) E. Meyer en V. Jordan, Elektr. Nachr. Techn. **12**, 213, 1935; vgl. ook: Philips techn. T. **2**, 266, 1937.

[14]) H. Baginall and A. Wood, Planning for good acoustics, p. 109 - 112.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

vanzelfsprekend de absorptie van de bezette stoelen in mindering gebracht.

Het is nu mogelijk, de totale absorptie en daarmede de nagalmtijd volgens Sabine te berekenen voor verschillende combinaties, zooals in het derde gedeelte is uitgevoerd. Men ziet, dat het publiek een zeer sterke invloed uitoefent. Het is dus zeker gewenscht om bij de berekening van een zaal ook na te gaan, of bij een gedeeltelijke bezetting van de zaal de nagalmtijd niet te lang wordt. Dit wil met andere woorden zeggen, dat er voldoende permanente absorptie in de zaal aanwezig moet zijn, hetzij in de vorm van bekleede stoelen, dan wel aan de wanden. Om dan bij volle bezetting niet een te korte nagalm te verkrijgen, zal het volume van de zaal niet te klein mogen zijn.

Een oriëntatie omtrent de in de practijk der zaalacoustiek gebruikelijke nagalmtijden geeft *fig. 8*, waarin voor verschillende, bekend goede zalen de nagalmtijd T is weergegeven in afhankelijkheid van het volume V van de zaal.

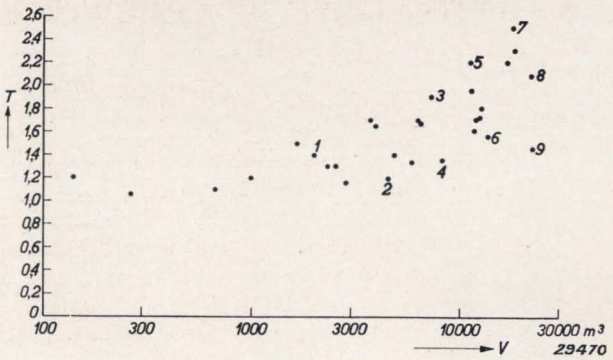


Fig. 8. Nagalmtijd T in afhankelijkheid van het volume V voor eenige bekend goede zalen, o.a.:

1) Altes Gewandhaus, Leipzig.
2) Examination Hall, Cambridge (Eng.).
3) St. Margaret's, Westminster.
4) Musikvereinsaal, Weenen.
5) Wagner Theater, Bayreuth.
6) Grand Théatre, Moscou.
7) Thomas Kirche, Leipzig.
8) Eastman Theater, Rochester (U.S.A.).
9) Salle Pleyel (nieuw), Parijs.

In deze figuur komt duidelijk tot uitdrukking, dat de langste nagalm voorkomt in kerken en de kortste in tooneelzalen, terwijl concertzalen voornamelijk daartusschen liggen.

Erratum. In het artikel „Helderheid van wegdekken bij kunstverlichting" door J. Bergmans (zie het nummer van November 1938 van dit tijdschrift) staat op bladzijde 325, 2de alinea, dat de helderheid B' in de formule voor q_d gegeven is in K/cm². *Dit moet zijn in K/m².* De schrijver heeft deze eenheid „K/m²" gebruikt en niet de „stilb" (K/cm²) om de volgende redenen:

1) worden de getallen, die voor de helderheidscoëfficienten gevonden worden en die toch al zeer klein zijn, op deze wijze een factor 10^4 maal zoo groot;
2) omdat in formules als $E = B\ \omega \cos \Psi$ de factor 10^4 hierdoor vervalt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

KWANTITATIEVE BESCHOUWINGEN OVER HET ELECTRISCH LASSCHEN

door J. ter BERG. 621.791.7

Bij het lasschen onder normale omstandigheden met een staaf, voorzien van een oxydeerende bekleeding kon worden vastgesteld, dat van het afgesmolten kernmateriaal 82% de rups vormt, 12,5% verspat en ca. 4,5% tengevolge van oxydatie door de bekleeding verloren gaat, terwijl de verdamping slechts een ondergeschikte rol speelt. — Wordt in plaats van de normale atmosfeer, stikstof of lucht onder druk als omringend gas gebezigd, dan blijkt weinig te veranderen: ook dan vindt de verslakking van het ijzer in mindere of meerdere mate plaats. Bij gebruik van een mengsel van waterstof en stikstof evenwel blijft deze verslakking geheel achterwege. — Door deze onderzoekingen is ten duidelijkste komen vast te staan, dat men bij het streven naar een verhoogd rendement behalve voor een laag spatverlies er ook voor moet zorgen, dat òf de bekleeding weinig of geen oxydeerende eigenschappen bezit, òf dat deze bekleeding tijdens het lasschen gassen afgeeft, die een reduceerend milieu om de boog vormen.

Inleiding

Het is een bekend feit, dat bij het electrisch lasschen een bepaald percentage van het gebruikte metaal op de een of andere wijze voor de laschrups verloren gaat. Wat evenwel de oorzaken van dit materiaalverlies zijn en hoeveel elk tot het totaalverlies bijdraagt is, voor zoover ons bekend, in het geval van bekleede laschstaven nog niet in de literatuur te vinden. Onderstaande experimenten en berekeningen hebben tot doel nadere gegevens hieromtrent te verschaffen.

Hierbij komt het begrip rendement ter sprake: onder het rendement van een laschstaaf zal worden verstaan de gewichtsverhouding van het neergesmolten metaal van de rups tot dat van het hiertoe verbruikte kernmateriaal.

De voor ons onderzoek speciaal vervaardigde staven bevatten een kern van vloeiijzer met een diameter van 5 mm, terwijl de bekleeding bestond uit ferro- en ferrioxyde, kwarts en aluminiumsilikaat, terwijl kaliwaterglas als bindmiddel was gebruikt. Het gemiddelde rendement uit eenige proeven, die onder normale omstandigheden werden verricht, bedroeg ongeveer 82%.

De vraag is nu, waar de resteerende 18% blijft. Als oorzaken van metaalverlies kunnen worden aangemerkt:

a) Verdamping.
b) Spatten.
c) Reacties van gesmolten metaal met vloeibare slak.

Wij zullen nu achtereenvolgens deze drie factoren afzonderlijk behandelen.

Verdamping

Kwantitatieve gegevens hieromtrent werden verkregen door tijdens het lasschen een koperen mantel over het werkstuk te schuiven, waarop de ontwikkelde dampen zich afzetten. Hoewel op deze manier de grootte der verdamping van kern en bekleeding samen werd bepaald, bleek toch uit het gewicht van de afgezette stof — die voornamelijk uit ijzeroxyden bleek te bestaan — dat de verdamping van het metaal een zeer geringe rol speelt en in geen geval meer dan 0,5% metaalverlies van de kern kan veroorzaken.

Spatten

Het metaalverlies tengevolge van het spatten werd bepaald, door een rups van 2 cm breedte te lasschen op een strip van 2,5 cm breedte, welke laatste weer op een groote dikke koperen plaat was gelegd. Bij deze manier van werken vielen zoo goed als alle weggespatte druppels op de koperen plaat, waarop ze niet hechten, zoodat zij gemakkelijk kunnen worden verwijderd en gewogen. Ter verduidelijking zij nog gewezen op de schematische voorstelling in *fig. 1.*

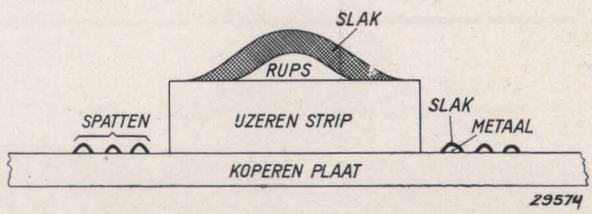


Fig. 1. Opstelling ter bepaling van de hoeveelheid metaal, die bij het lasschen verspat.

Voordat met het lasschen werd begonnen, werd het gewicht bepaald van de strip, van de ijzeren kern en van de bekleeding. Dit laatste kon worden bepaald door bij de fabricage van te voren de ijzeren kern te wegen en eerst daarna de bekleeding op te brengen. Na het lasschen werd gewogen:
1e) de rest van de ijzeren kern — waarmede dus

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

het gewicht van het opgesmolten metaal bepaald was;

2e) de rest van de bekleeding, hetgeen het gewicht van de afgesmolten bekleeding leerde kennen;

3e) de slak, die zich op de rups bevond (vgl. fig. 1) en die zich kwantitatief van het metaal liet scheiden;

4e) de strip met de rups, waaruit dus het gewicht van de rups en het rendement berekend kon worden;

5e) de spatten, waaronder de metaaldruppeltjes omgeven met een laagje slak worden verstaan. Door de alleszins gewettigde onderstelling, dat de gewichtsverhouding van metaal en slak voor de spatten dezelfde is als voor de rups, kan men het gewicht van het weggespatte metaal berekenen.

Een en ander zal verduidelijkt worden door onderstaande *tabel I* waarin de resultaten vermeld zijn, verkregen bij het lasschen met drie staven van het hiervóór genoemde type. Hieruit blijkt tevens, dat de overeenkomst van de drie kolommen zoodanig is, dat aan de gemiddelde waarden zeker reëele beteekenis kan worden toegekend.

Tabel I

	I	II	III	gemiddeld
Afgesmolten metaal . .	52,5 g	53,4 g	55,5 g	53,8 g
Afgesmolten bekleeding	18,0	19,2	19,5	18,9
Metaal van de rups . .	43,7	44,1	44,8	44,2
Slak op de rups . . .	18,5	18,8	18,0	18,4
Totaal (metaal+slak) van de spatten . . .	8,7	9,8	9,0	9,2
Metaal van de spatten .	6,1 *)	6,9	7,0	6,7
Slak van de spatten . .	2,6	2,9	2,0	2,5
Tot. neergesmolten slak	21,1	21,7	20,0	20,9
Rend. $= \frac{\text{Met. v. d. rups}}{\text{Afgesm. metaal}}$	83,2%	82,6%	80,7%	82,1%

*) Berekend als volgt: $\frac{43,7}{43,7 + 18,5} \cdot 8,7 = 6,1$.

Uit deze tabel is nu direct af te leiden, dat het spatverlies $\frac{6,7}{53,8} \cdot 100 = 12,5\%$ van het afgesmolten metaalgewicht bedraagt.

Reacties van gesmolten metaal met vloeibare slak

Het gemiddelde rendement bedroeg, zooals uit tabel I te zien is, 82,1%. Van het oorspronkelijke kernmateriaal gaat dus ongeveer 18% voor de laschrups verloren. Zooals boven opgegeven, veroorzaken verdampen en spatten 0,5% + 12,5% = = 13% verlies. Het verdwijnen van de overige 5% van het kernmateriaal is nu te verklaren door te onderstellen, dat het vloeibare ijzer reageert met het Fe_2O_3 van de gesmolten slak. Kwalitatief is deze onderstelling direct te toetsen aan het feit, dat het totale gewicht van de slak grooter is dan het gewicht van de afgesmolten bekleeding, hetgeen dus op een verslakking van een gedeelte van het gesmolten ijzer wijst.

Ook kwantitatief echter is bovenstaande onderstelling in overeenstemming met de grootheden, in tabel I vermeld, hetgeen de volgende beschouwing aan zal toonen.

Door een ferro-ferri-analyse kon worden uitgemaakt, dat de 53,8 g afgesmolten bekleeding 2,6 g FeO en 8,5 g Fe_2O_3 bevatte, terwijl zich in de slak 12,1 g FeO en 1,2 g Fe_2O_3 bevond. Door het laschproces is dus verdwenen $8,5 - 1,2 = 7,3$ g Fe_2O_3. Onderstellen wij nu, dat dit met het ijzer heeft gereageerd:

$$\begin{aligned} &Fe_2O_3 \rightarrow 2\ FeO + O, \\ &Fe + O \rightarrow FeO \quad , \\ \hline &Fe_2O_3 + Fe \rightarrow 3\ FeO, \end{aligned}$$

dan heeft deze 7,3 g Fe_2O_3 dus 2,5 g Fe van de kern verbruikt onder vorming van 9,8 g FeO, hetgeen in de slak werd opgenomen. Dat inderdaad het proces een dergelijk verloop gehad heeft vindt steun in de overweging, dat volgens deze berekening de slak 2,6 + 9,8 = 12,4 g FeO moet bevatten, terwijl de analyse in zeer goede overeenstemming hiermede tot 12,1 g FeO deed besluiten. Bovendien is nu de geheele „lasch-balans" sluitend, want volgens voorgaande berekeningen is nu van de 53,8 g ijzer, dat werd afgesmolten, verbruikt voor de

vorming van de laschrups: . .	44,2 g	= 82,1%,
verdampt (maximaal): . . .	0,3 g	= 0,5%,
verspat:	6,7 g	= 12,5%,
verslakt door de bekleeding: .	2,5 g	= 4,8%,
Totaal . . .	53,7 g	= 99,9%.

Nadat hierdoor een kwantitatief inzicht is verkregen omtrent de verdeeling van het opgesmolten metaal over de verschillende vormen, waarin het bij het lasschen overgaat, zij in dit verband nog gewezen op het volgende:

Meestal wordt als één van de groote voordeelen van een bekleede laschstaaf boven een blanke staaf aangemerkt het feit, dat de zuurstof en stikstof van de lucht tijdens het lasschen in die mate worden geweerd, dat deze gassen geen gelegenheid krijgen het metaal zoodanig te verontreinigen, dat de mechanische eigenschappen van het neergesmolten metaal ongunstig worden beïnvloed. Het zal evenwel direct duidelijk zijn, dat in het hier bestudeerde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

geval, waar de bekleeding ferri-oxyde [1]) bevat een primaire oxydatie van het metaal toch moet optreden, daar de zuurstof tijdens het laschproces ontstaat en direct met het vloeibare ijzer in aanraking komt. Zelfs indien de slak het toetreden van zuurstof uit de lucht onmogelijk zou maken, zou ze dus de oxydatie van het ijzer toch niet kunnen beletten. De voordeelen van een bekleede laschstaaf boven een onbekleede moet dan ook in andere oorzaken worden gezocht en wel moet veel meer worden gedacht aan het oplossen van de aanwezige en nieuw gevormde oxyden in de vloeibare slak, terwijl ook onder bepaalde omstandigheden door de bekleeding een sterk reduceerende gasstroom gevormd wordt, die de boog tijdens het lasschen omgeeft en een gunstige invloed op het zuurstofgehalte van het neergesmolten metaal kan uitoefenen. In elk geval is de opvatting, dat de slak het gesmolten metaal tegen zuurstofinwerking beschermt, in zijn algemeenheid onjuist.

Ook is het zeer de vraag, of het geringe stikstofgehalte van een lasch, gelegd met een bekleede staaf, geheel verklaard kan worden met behulp van de mechanisch afschermende werking van de vloeibare slak en de ontstane gasmantel; misschien spelen ook hier soortgelijke processen, als waarvan hierboven sprake was, een belangrijke rol.

Lasschen in verschillende atmosferen

De resultaten in het voorgaande verkregen waren van dien aard, dat werd besloten het laschproces ook te vervolgen in andere atmosferen dan lucht.

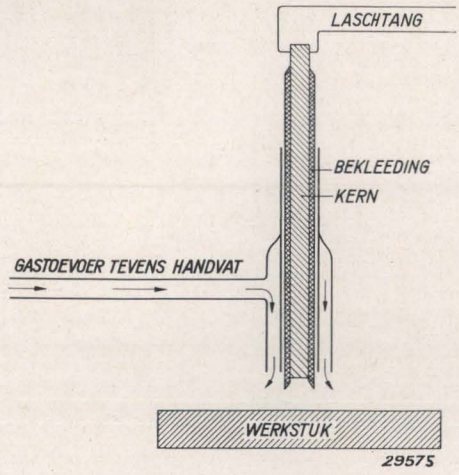


Fig. 2. Apparatuur voor het lasschen in verschillende atmosferen.

[1]) Behalve dit oxyde zijn er nog zeer veel andere stoffen, die dikwijls voor de bekleeding worden gebezigd en tijdens het laschproces vrije zuurstof afsplitsen; zoo zij bijv. gewezen op de aanwezigheid van carbonaten, die bij de hooge boogtemperatuur zeer zeker oxydeerende eigenschappen vertoonen.

Daartoe werd gebruik gemaakt van een zeer eenvoudig apparaatje, dat in *fig. 2* is afgebeeld. Tijdens het lasschen werd het apparaat geleidelijk naar boven geschoven, zoodat gedurende het afsmelten van de staaf de boog omgeven was met het gas, waarin men wenschte te onderzoeken en dat met een bepaalde snelheid werd aangevoerd. Gebruikt werd perslucht, stikstof en een mengsel van 25% waterstof en 75% stikstof.

In *tabel II* zijn de resultaten van deze proeven benevens die, verkregen bij het lasschen onder normale omstandigheden, vereenigd; de verschillende grootheden zijn weer gemiddelden uit diverse waarnemingen en voor een gemakkelijke vergelijking alle omgerekend voor 100 g afgesmolten metaal, waardoor dus bijv. spatten en rendement direct in procenten van het afgesmolten metaal kunnen worden afgelezen.

Tabel II

	A normaal	B stikstof	C perslucht	D 75% N_2 + + 25% H_2
Afgesmolten metaal . .	100 g	100 g	100 g	100 g
Afgesmolten bekleeding	35,3	33,2	31,9	31,0
Metaal van de rups . .	82,1	81,7	75,7	84,1
Slak op de rups . . .	34,2	30,2	36,7	24,6
Totaal (metaal + slak) van de spatten . . .	17,1	17,7	17,8	19,0
Metaal van de spatten .	12,5	13,0	11,9	14,6
Slak van de spatten . .	4,6	4,7	5,9	4,4
Tot. neergesmolten slak	38,8	34,9	42,6	29,0
FeO van de bekleeding .	4,8	4,5	4,3	4,2
Fe_2O_3 van de bekleeding	15,8	14,9	14,5	13,9
FeO van de slak	22,3	20,5	23,9	15,8
Fe_2O_3 van de slak . . .	2,3	1,7	5,5	1,4

Ter verklaring van deze tabel zullen de vier verschillende kolommen afzonderlijk worden toegelicht.

A. Normale atmosfeer. Tijdens het laschproces verdween 15,8 — 2,3 = 13,5 g Fe_2O_3, hetgeen gereageerd heeft met het vloeibare ijzer volgens

13,5 g Fe_2O_3 + 4,3 g Fe → 17,8 g FeO.

In de bekleeding was reeds te voren aanwezig 4,8 g FeO.

Volgens deze berekening moet de slak dus bevatten 22,6 g FeO.

De analyse gaf in goede overeenstemming hiermede 22,3 g FeO. Verslakt werd dus 4,3% van het ijzer, hetgeen als een gewichtstoename van de slak ten opzichte van de afgesmolten bekleeding nog tot uiting komt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

B. Stikstofatmosfeer

Reactie . . . 13,2 Fe_2O_3 + 4,2 Fe → 17,4 FeO
In de bekleeding te voren aanwezig · 4,5 FeO

Totaal berekend . . . . . 21,9 FeO

De analyse deed tot 20,5 g FeO besluiten. Dit iets te lage bedrag kan evenwel nog zijn verklaring vinden in het feit, dat iets van de zuurstof uit het ontleede Fe_2O_3 niet met het vloeibare ijzer reageert, maar onder de gebezigde omstandigheden als zoodanig of in de vorm van stikstofoxyden ontwijkt.

C. Perslucht. Uit de gevonden grootheden is direct af te leiden, dat naast de normale oxydatie van het vloeibare ijzer door het Fe_2O_3 ook nog de zuurstof van de omringende lucht zijn oxydeerende werking laat gelden. Een groote gewichtstoename van de slak, met als gevolg hiervan een verlaagd rendement, is dan ook te constateeren.

D. Reduceerende atmosfeer. Dit geval is bijzonder interessant met het oog op het lasschen met een zg. „shielded-arc", waarbij getracht wordt de boog met een reduceerend gas te omgeven. Uit de gevonden grootheden in de tabel valt direct op, dat een gewichtsafname van de slak geconstateerd moet worden, in tegenstelling met de voorgaande gevallen, waarbij juist een gewichtstoename van de slak ten opzichte van de oorspronkelijke bekleeding vastgesteld werd.

Dit verschil nu kan ongedwongen verklaard worden door te onderstellen, dat de vrijgemaakte zuurstof uit het Fe_2O_3 nu niet meer met het ijzer reageert, maar met de omringende waterstof, waarbij water gevormd wordt, hetgeen als zoodanig ontwijkt, dus:

$$Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2\,FeO + H_2O\uparrow .$$

Doordat op deze manier een bescherming van het vloeibare ijzer tegen oxydatie plaats vindt, zal een verhoogd rendement het gevolg zijn, hetgeen tevens als gewichtsafname van de slak ten opzichte van de afgesmolten bekleeding tot uiting komt.

Ook kwantitatief is nog berekening en experiment in overeenstemming te brengen: Door het laschproces verdween nl. 13,9 — 1,4 = 12,5 g Fe_2O_3, dat ontleed werd tot 11,2 g FeO en zuurstof. Volgens de berekening zou de slak dus moeten bevatten 11,2 + 4,2 = 15,4 g FeO, terwijl de analyse in goede overeenstemming hiermede tot 15,8 g FeO deedbesluiten.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN.

1324: M. J. Druyvesteyn: The interaction between an electron beam and a plasma (Physica **5**, 561-567, Juli 1938).

Berekend wordt, hoe een bundel van electronen door een plasma wordt geremd en verstrooid in richting en energie. Daar de wisselwerking plaats vindt volgens de wet van Coulomb, moet er een bovenste grens bepaald worden voor de afstand, waarop een electron uit de bundel nog invloed ondervindt van de electronen en ionen van het plasma.

1325: W. Elenbaas: Der Einfluß der positiven Ionen auf die Beweglichkeit der Elektronen im Quecksilberbogen (Physica **5**, 568-580, Juli 1938).

De electrische veldsterkte in een hooge druk kwikontlading is gemeten bij drukken lager dan de normaal gebruikelijke en in buizen met diameters van 11, 19 en 37 mm. In dat drukgebied vindt men verschillen tusschen de metingen en de berekeningen, die gemaakt zijn op grond van metingen verricht in het normale gebied. Het blijkt, dat men van deze afwijkingen rekenschap kan geven door de invloed der positieve ionen op de bewegelijkheid der electronen, zooals deze door Gvosdover werd berekend, in aanmerking te nemen.

1326: C. J. Bakker: Current distribution fluctuations in multi-electrode radio valves (Physica **5**, 581-592, Juli 1938).

De fluctuaties worden besproken, die in de stroomsterkte in een radiolamp ontstaan tengevolge van het zich verdeelen van de stroom in de buis over de verschillende electroden. Voor de fluctuaties in de anodestroom van een penthode worden formules afgeleid. Experimenten verricht aan penthoden stemmen behoorlijk overeen met de theoretische uitdrukkingen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!